



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

SIMULASI DAN ANALISA TEGANGAN IMPAK PADA RIM VELG TRUK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

FADLI KURNIAWAN
NRP. 2713 100 029

Dosen Pembimbing
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D
Alvian Toto Wibisono, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



Tugas Akhir – TL091584

**SIMULASI DAN ANALISA TEGANGAN IMPAK PADA
RIM VELG TRUK DENGAN METODE ELEMEN
HINGGA**

FADLI KURNIAWAN
NRP. 2713100029

Dosen Pembimbing
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D
Alvian Toto Wibisono, ST., MT

Departemen Teknik Material & Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Final Project – TL091584

***SIMULATION AND ANALYSIS OF IMPACT STRESS ON
RIM OF TRUCK WHEEL WITH FINITE ELEMENT
METHOD***

FADLI KURNIAWAN
NRP. 2713100029

Advisor
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D
Alvian Toto Wibisono, ST., MT

Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(This page is blank)

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

FADLI KURNIAWAN

NRP. 2713 100 029

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)

Alvian Toto Wibisono, ST., MT (Pembimbing II)



SIMULASI DAN ANALISA TEGANGAN IMPAK PADA RIM VELG TRUK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Fadli Kurniawan
NRP : 2713100029
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D
Alvian Toto Wibisono ST., MT

Abstrak :

Uji *impact* adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*) dimana gunanya untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pada penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan penelitian simulasi *impact* pada bagian *flange* velg mobil, sementara pada penelitian kali ini akan dibahas mengenai pengujian impak pada bagian rim velg truk yang memiliki beban lebih berat dan sifat material lebih kaku. Penelitian yang dilakukan kali ini dilakukan dengan cara simulasi menggunakan software metode elemen hingga yang memiliki nilai lebih dalam efektifitas dan hasil yang mendekati eksperimental, yang kemudian akan dibandingkan tingkat keamanannya dengan variasi material, Dalam hal ini, material yang dipilih adalah material SS400 dengan nilai modulus elastisitas 210 GPa, material *low carbon steel* AISI 1018 dengan nilai 205 GPa, dan material mangan silikon ASTM A299 dengan nilai 200 GPa. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai tegangan von mises masing – masing material SS400, AISI 1018 dan ASTM A299 secara berurutan yaitu 425 MPa, 368 MPa, dan 335 MPa, berpedoman pada studi litelatur hasil tersebut dapat dikatakan valid karena nilai tegangan von mises berbanding lurus dengan nilai modulus elastisitas dan nilai regangannya, serta berbanding terbalik dengan nilai *displacement* nya. Jika ditinjau dari tingkat keamanannya,

ketiga material tersebut masih aman digunakan karena hasil tegangan von mises masih berada di bawah nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS). Masing- masing material memiliki nilai UTS yaitu sebesar 480 MPa, 440 MPa dan 585 MPa untuk material SS400, AISI 1018 dan ASTM A299, Dalam hal ini, material yang paling aman adalah material mangan ASTM A299 karena memiliki selisih paling besar antara nilai von mises dan UTS nya. Pada penelitian kali ini belum dapat menguji tekanan dalam ban *truck* karena menggunakan ANSYS dirasa masih sangat sulit, Dengan demikian, permasalahan ini dapat dijadikan topik untuk penelitian selanjutnya dalam hal eksperimental atau software lain.

Kata Kunci : Uji Impak, Metode Elemen Hingga, Rim Velg Truk

SIMULATION AND ANALYSIS OF IMPACT STRESS ON RIM OF TRUCK WHEEL WITH FINITE ELEMENT METHOD

Name : Fadli Kurniawan
NRP : 2713100029
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D
Alvian Toto Wibisono ST., MT

Abstract

The impact test is a test using rapid loading and is used to measure the resistance of the material to the shock load. Previous studies have focused on the impact simulation of car flange, this study, however, concentrates on the impact test of truck rims which is heavier and more rigid. This study used finite element method (FEM) software simulation which is highly effective and its result is close to that of the experiment. The result was then compared to the safety level from a variety of materials. The material used were SS400 with an elastic modulus of 210 GPa, low carbon steel AISI 1018 of 205 GPa, and silicon manganese ASTM A299 of 200 GPa. The von Mises data obtained from the simulation of SS400, AISI 1018 and ASTM A299 were 425 MPa, 368 MPa, and 335 MPa, respectively. Literature studies support the validation of the result because the value of von Mises voltage was directly proportional to the elastic modulus and the value of strain was inversely proportional to its displacement value. The three materials are safe to use since the von Mises voltages are still below the Ultimate Tensile Strength (UTS). SS400, AISI 1018, and ASTM A299 have a UTS value of 480 MPa, 440 MPa, and 585 MPa, respectively. The

safest material is ASTM A299 manganese as it has the greatest difference between the value of the von Mises and its UTS. This study was not able to test the pressure of the truck inner tire using ANSYS, hence further studies are necessary.

Keywords: Impact Test, Finite Element Method, Rim of Truck Wheel

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala karena berkat Rahmat dan Karunia – Nya penulis dapat sehat dan diberi kemudahan dalam menyelesaikan laporan ini, trimakasih kepada kedua orangtua, yang selalu mendukung penuh dan memenuhi segala kebutuhan penulis, trimakasih kepada Bapak Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D, dan Bapak Alvian Toto Wibisono, ST., MT selaku dosen pembimbing penulis yang telah membimbing penulis hingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“SIMULASI DAN ANALISA TEGANGAN IMPAK PADA RIM VELG TRUK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**“.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan studi Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, tetapi besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, dan mungkin dapat dikembangkan lagi untuk penelitian yang akan datang.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tahap Pengerolan	5
2.1.1 Gaya Dasar Pengerolan.....	7
2.2 Teori Kegagalan Statis dan Tegangan Von Mises....	8
2.2.1 Teori Energi Distorsi (vonMises-Henky).....	8
2.2.2 Teori Tegangan Geser Maksimum.....	11
2.3 <i>Impact Test</i>	15
2.2.1 Spesifikasi Alat.....	17
2.2.2 Metoda Pengujian.....	17
2.4 Metode Elemen Hingga	19
2.4.1 Elemen Satu Dimensi.....	25
2.4.2 Elemen Dua Dimensi.....	26
2.4.3 Elemen Tiga Dimensi.....	27
2.5 Study Penelitian Sebelumnya.....	27
2.6 Software Metode Elemen Hingga ANSYS	28
2.6.1 ANSYS.....	30
2.6.2 Garis Besar Simulasi ANSYS.....	31

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	35
3.2	Spesifikasi Material Penelitian.....	36
3.2.1	Material Penelitian.....	36
3.2.2	Geometri Penelitian	37
3.2.2.1	Geometri Rim Velg Truk.....	38
3.2.2.2	Geometri Striker.....	40
3.3	Peralatan Penelitian	41
3.4	Prosedur Penelitian	41
3.4.1	Permodelan Rim Velg Truk	43
3.4.2	Penentuan Element Type	43
3.4.3	Menentukan Material Properties	44
3.4.4	Meshing	45
3.4.5	Pemodelan Kontak	47
3.4.6	Tipe Analisis.....	48
3.4.7	Validasi Penelitian.....	48
3.5	Langkah Penelitian.....	48
3.6	Variabel Penelitian.....	49
3.7	Rancangan Penelitian	50

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisa Data dan Pembahasan	51
4.1.1	Analisa Hasil Simulasi.....	51
4.1.2	Validasi Penelitian.....	65

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran	72

DAFTAR PUSTAKA xix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Contoh bentuk Profil Rim	5
Gambar 2.2	Perubahan Profil Setelah Pengerolan.....	6
Gambar 2.3	Contoh Bentuk Mesin Rolling	6
Gambar 2.4	Gambar <i>Force</i> 3 Roller	8
Gambar 2.5	Tegangan Elemen Tiga Dimensi.....	9
Gambar 2.6	Grafik Representasi Teori Energi.....	13
Gambar 2.7	Grafik Representasi Teori Geser Maksimum	14
Gambar 2.8	Bukti Eksperimental kegagalan Luluh Pada Material	15
Gambar 2.9	Impact Test 13 ⁰ Methods	12
Gambar 2.10	Set-up Impact Test 13	13
Gambar 2.11	Permisalan Elemen Bar dengan Dua Nodes ...	20
Gambar 2.12	Dua Elemen Bar yang Dijepit.....	22
Gambar 2.13	Meshing pada Plate	25
Gambar 2.14	Elemen Satu Dimensi	26
Gambar 2.15	Elemen 2D Segitiga dan Segi Empat	26
Gambar 2.16	Elemen Tiga Dimensi Tetrahedron Dan Balok	27
Gambar 2.17	Pembebanan Pada Penelitian Sebelumnya.....	28
Gambar 2.18	Hasil Tegangan Von mises Pada Penelitian Sebelumnya.....	29
Gambar 2.19	Hasil Regangan Elastis Pada Penelitian Sebelumnya.....	30
Gambar 3.1	Diagram Alir Percobaan	35
Gambar 3.2	Gambar Teknik Plat Rim 750Vx20 Tampak Samping.....	38
Gambar 3.3	Gambar Teknik Slab Rim Tampak Depan.....	38
Gambar 3.4	Drawing Dimensi Melingkar Velg Truk	39
Gambar 3.5	Geometri Rim Velg Truk.....	40
Gambar 3.6	Geometri Striker Balok Pengujian Impak.....	40
Gambar 3.7	Diagram Alir Permodelan	42
Gambar 3.8	Tampilan Preference pada ANSYS	43
Gambar 3.9	Tampilan Define Element Type.....	44

Gambar 3.10	Tampilan Input Material Properties.....	45
Gambar 3.11	Material Rim Setelah di Meshing.....	46
Gambar 3.12	Material Striker Balok Setelah di Meshing.....	46
Gambar 4.1	Hasil Simulasi Tegangan Von-mises material SS400.....	52
Gambar 4.2	Grafik Tegangan Von Mises Material SS400.	52
Gambar 4.3	Hasil Simulasi Tegangan Von-mises material AISI 1018.....	53
Gambar 4.4	Grafik Tegangan Von Mises Material AISI 1018	53
Gambar 4.5	Hasil Simulasi Tegangan Von-mises material ASTM A299	54
Gambar 4.6	Grafik Tegangan Von Mises Material ASTM A299	54
Gambar 4.7	Hasil Simulasi regangan(v-m) material SS400.....	56
Gambar 4.8	Grafik <i>Effective strain</i> material SS400	56
Gambar 4.9	Hasil Simulasi regangan(v-m) material AISI 1018	57
Gambar 4.10	Grafik Simulasi regangan(v-m) material AISI 1018	57
Gambar 4.11	Hasil Simulasi regangan(v-m) material ASTM A299	58
Gambar 4.12	Grafik <i>Effective strain</i> material ASTM A299	58
Gambar 4.13	Grafik Tegangan-Regangan	59
Gambar 4.14	Grafik Displacement SS400.....	62
Gambar 4.15	Hasil Displacement SS400.....	62
Gambar 4.16	Hasil Displacement AISI 1018	63
Gambar 4.17	Grafik Displacement AISI 1018	63
Gambar 4.18	Hasil Displacement Material ASTM A299.....	64
Gambar 4.19	Grafik Displacement Mangan ASTM A299...	64
Gambar 4.20	Gambar Striker Sebelum Bergerak Menumbuk Rim.....	66

Gambar 4.21	Striker Saat Menumbuk Rim	66
Gambar 4.22	Striker Sesaat Setelah menumbuk Rim.....	67
Gambar 4.23	Striker Setelah menumbuk Rim.....	67
Gambar 4.24	Perbandingan hasil Tegangan dan UTS.....	69

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Mesin Impak PT.Molindo Engineering.....	17
Tabel 3.1	Spesifikasi Material SS400.....	36
Tabel 3.2	Spesifikasi Material Baja AISI 1018	36
Tabel 3.3	Spesifikasi Material Baja Mangan Silikon ASTM A299.....	37
Tabel 3.4	Spesifikasi Material Beton Aspal	37
Tabel 3.5	Rancangan Percobaan.....	50
Tabel 4.1	Data Tegangan Hasil Simulasi Impak.....	51
Tabel 4.2	Hasil Regangan Effective (v-m) Simulasi Impak..	51
Tabel 4.3	Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> Setiap Material ..	60
Tabel 4.4	Nilai Displacement Hasil Simulasi	61
Tabel 4.5	Hasil Simulasi Keseluruhan	68
Tabel 4.6	Hasil nilai Tegangan dan UTS.....	69

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada kehidupan sehari – hari kita dapat menemukan berbagai jenis truk yang melintasi jalan dan memiliki kegunaan mengangkut berbagai jenis muatan, hingga saat ini truk masih sangat banyak digunakan terutama pada jalur darat karena bisa memuat beban muatan yang banyak dan berat, sehingga lebih efisien jika dibandingkan kendaraan darat yang lain. Untuk membuat desain *body* truk yang sesuai dengan muatan, tentunya tidak lepas dari keberadaan velg truk yang menjadi tempat melekatnya ban dan sebagai kaki truk yang berjalan.

Velg adalah kerangka dari sebuah roda yang menahan gaya dan tegangan akibat dari berat kendaraan dan dampak atau pukulan dari permukaan jalan. Pukulan dari permukaan jalan tersebut dapat mengakibatkan terjadinya tegangan dan deformasi pada velg (Harri R, 2014). Velg truck sendiri terdiri dari bagian rim yang berfungsi sebagai tempat diletakkannya ban dan juga disk yang tersambung dengan poros yang berputar, rim umumnya dibuat dengan pengerolan pelat baja yang memiliki profil dan untuk menghasilkan velg truk yang baik tentunya diperlukan proses manufaktur yang baik pula apalagi velg adalah tempat melekatnya ban yang rentan terhadap beban dampak ketika tidak dalam kondisi optimal. WHO memperkirakan kecelakaan lalu lintas dari kasus pecah ban menempati urutan ke-3 penyebab utama kematian dari kasus kecelakaan tahun 2004 sampai 2006 di jalan tol seluruh Indonesia, pecah ban merupakan penyebab kecelakaan nomor tiga setelah kurang antisipasi dan mengantuk, yaitu sebesar 18 sampai 23 persen (Isamas, 2011), tentu saja hal ini tidak lepas dari kondisi velg, karena itu diperlukan proses manufaktur dan pengujian yang baik. Dalam proses pembentukan rim dengan metode *rolling* memiliki lebih banyak deformasi serta konsentrasi tegangan akibat proses saat pengerolan pelat jika dibandingkan dengan proses bending pada bagian disk atau



BAB I PENDAHULUAN

pengerjaan velg dengan metode *casting*, hal tersebut tentu memberikan tantangan bagi para produsen velg untuk memproduksi velg yang memiliki distribusi tegangan yang merata pada bagian rim setelah proses pengerolan, untuk memberikan rasa aman dan untuk mengukur ketahanan velg truk terhadap beban kejut saat berjalan, sangat diperlukan pengujian *impact*, uji *impact* sendiri adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*) dan digunakan untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut, selain digunakan mengukur beban kejut juga dapat diketahui tingkat keuletan dan ketangguhan material velg truk itu sendiri jika dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan mesin uji impak spesimen yang standart.

Pada tugas akhir kali ini akan disimulasi uji *Impact* pada bagian rim velg truk menggunakan Metode Elemen Hingga dengan software ANSYS versi 17.0 dengan bantuan solver LS-DYNA, karena ANSYS dapat memberikan hasil yang mendekati hasil uji sebenarnya dari data atau sifat – sifat material yang diolah dan dihitung menggunakan sistem metode elemen hingga, menurut (CL Chang, 2008) pengujian simulasi juga dapat mengurangi biaya dan waktu tes eksperimental sehingga lebih efisien. Data velg yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT. Autokorindo Pratama Gresik yang merupakan pabrik velg truk skala internasional dan merupakan penyuplai velg truk ke beberapa merk alat berat terkenal, serta bahan material yang digunakan untuk proses pembuatan rim velg adalah material SS400 yang memiliki bentuk profil yang di proses menggunakan metode *rolling*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh tegangan *impact* yang terjadi pada rim velg setelah proses pengerolan ?



- b. Bagaimana analisis keamanan nilai tegangan *impact* yang terjadi setelah uji *impact* disimulasikan dalam software ANSYS ?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa hal yang berfungsi sebagai batasan masalah :

- a. Raw material memiliki sifat mekanik yang homogen saat sebelum diproses
- b. Pergerakan dari *mold roll* dan raw material mengikuti kondisi aktual roll
- c. Kondisi operasi diasumsikan sesuai dengan standart yang ada
- d. Kondisi material diasumsikan tanpa cacat sebelum proses simulasi dan bebas dari tegangan sisa
- e. Kondisi material diasumsikan tidak terpengaruh kondisi lingkungan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Menganalisis tegangan *impact* yang terjadi pada rim velg setelah proses pengerolan
- b. Menganalisis nilai keamanan pengaruh efek *impact* yang terjadi setelah uji *impact* disimulasikan dalam software ANSYS.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah mengaplikasikan ilmu material dan metalurgi yang telah dipelajari di bangku kuliah sebagai dasar dalam penelitian ini serta memberikan hasil pengujian impak velg truk yang dapat digunakan sebagai referensi untuk proses pengerolan *rim velg* truk di bidang industri manufaktur. Dan dapat sebagai alternatif pengujian



BAB I PENDAHULUAN

eksperimental karena dilakukan dengan software sehingga lebih hemat biaya.

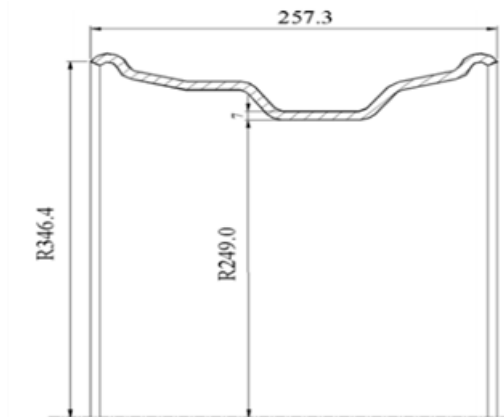
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

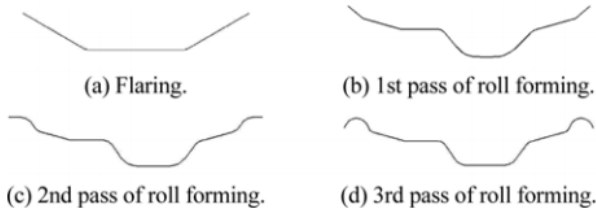
2.1 Tahap Pengerolan

Wheel Rim yang memiliki bentuk seperti cincin awalnya terbentuk dari plat yang kemudian akan mengalami proses *flaring* sebelum dilakukan proses *rolling* dimana pada penelitian ini akan dilakukan tiga kali proses *rolling*, kemudian dilanjutkan dengan proses *winding* dan *welding* serta akan dilakukan beberapa proses *finishing* setelah proses *rolling* dilakukan. Pada penelitian yang dilakukan proses *winding*, *welding* dan *finishing* akan diabaikan, karena akan fokus pada *flaring* dan proses pembentukannya.

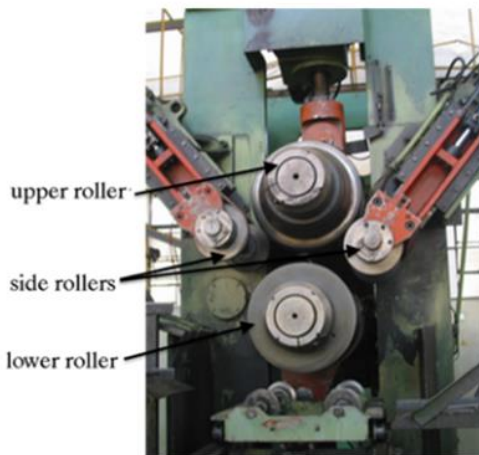
Pada gambar 2.1 dan 2.2 dibawah ini dapat dilihat bahwa *wheel rim* memiliki profil yang kompleks



Gambar 2.1 Contoh bentuk Profil (Gang Fang, 2015)



Gambar 2.2 Gambar Perubahan Profil Setelah Pengerolan (Gang Fanng, 2015)



Gambar 2.3 Contoh Bentuk Mesin Rolling (Gang Fang, 2015)

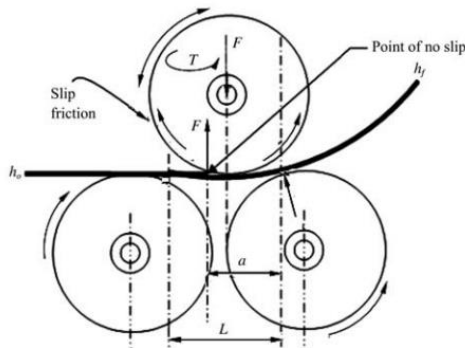
Pada gambar 2.3 di atas adalah salah satu bentuk mesin rolling yang digunakan dalam proses pengerolan *rim* pelek. Karena bentuk profile yang kompleks maka pada penelitian ini digunakan tiga tahap pengerolan, dan terdiri dari *upper roller*, *the lower roller*, dan *side roller*. *Roller* pembentuk profile memiliki bentuk *convex* pada bagian atas dan *concave* pada bagian bawah. *Flared ring* yang berbentuk cincin tapi belum terbentuk profilnya diletakkan pada *lower roller*. Saat bagian bawah dan atas roller berputar, *roller*



bawah bergerak ke atas menuju *upper roller*. Ketika *Flared ring* yang dijepit oleh *roller* atas dan bawah, flared ring ikut berputar karena terkena gaya gesek dengan kecepatan yang sama dengan *lower roller*. Side roller atau roller samping akan menekan *flared ring* untuk mencegah terjadinya guncangan dan ayunan. (Gang Fang, 2015)

2.2.1 Gaya Dasar Pengerolan

Mengikuti konsep dasar operasi pengikisan (*shearing operation*) pada lembaran metal, dikatakan sebuah komponen bisa di roll dengan memberikan gambaran bentuk terlebih dahulu. Untuk membengkokkan (*bending*) suatu material minimal diperlukan dua perlakuan gaya; gaya gesek yang menyebabkan adanya slip ketika metal dan roller terjadi kontak, dan sebuah *bending force* yang beraksi berlawanan dengan laju kecepatan dan aplikasi torsi yang untuk menggerakkan material. Untuk lebih jelasnya akan dijelaskan pada gambar 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2.4 Gambar 3 Roller; Dimana a = jarak dari zona luar ke *no-slip point* (diasumsikan $a = L/2$); F = gaya yang diaplikasikan ke roller; T = Torsi yang diaplikasikan ke roller; L = roll gap; r = radius dari roller; $u =$ frictional force $0,4 \text{ Nm}^{-1}$; $h_0 h_f$ = ketebalan dari plat sebelum dan sesudah (R. S. Bello, 2013)



2.2 Teori Kegagalan Statis dan Tegangan *Von Mises*

Kegagalan pada suatu elemen mesin dapat terjadi dalam berbagai wujud seperti misalnya yielding, retak, patah, korosi, aus, dan lain-lain. Penyebab kegagalan juga bermacam-macam seperti misalnya salah desain, beban operasional, kesalahan maintenance, cacat material, temperatur, lingkungan, waktu, dan lain-lain. Dalam beberapa kasus kegagalan juga dapat diakibatkan oleh beban mekanis yaitu yang berhubungan dengan jenis tegangan yang terjadi pada komponen mesin. Dengan pengetahuan yang lengkap tentang kegagalan, maka para insinyur dapat mempertimbangkan berbagai aspek penyebab kegagalan dalam perancangan sehingga diharapkan kegagalan tidak akan terjadi selama umur teknisnya. Dalam dunia teknik dikenal beberapa teori kegagalan statik. Teori kegagalan statik dalam perkembangannya dibedakan menjadi dua kategori, yaitu teori kegagalan untuk material ulet (ductile) dan teori kegagalan statik untuk material getas (brittle). Mengingat jenis material dalam penelitian ini adalah material ulet, maka akan dibahas jenis teori kegagalan untuk material ulet. Pada material ulet akan terjadi patah jika tegangan akibat beban statik di atas kekuatan tarik ultimatnya, sementara kegagalan pada komponen mesin terjadi bila tegangan akibat beban statis di atas kekuatan luluhnya

2.2.1. Teori Energi Distorsi (von Mises-Henky)

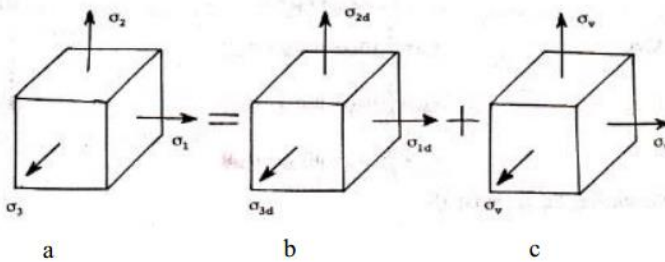
Teori kegagalan ini diperkenalkan oleh Huber (1904) dan kemudian disempurnakan melalui kontribusi von Mises dan Henky. Teori ini menyatakan bahwa kegagalan diprediksi terjadi pada keadaan tegangan multiaksial bilamana energi distorsi per unit volume sama atau lebih besar dari energi distorsi per unit volume pada saat terjadinya kegagalan dalam pengujian tegangan uniaksial sederhana terhadap spesimen dari material yang sama.

Pada gambar 2.5 menggambarkan sebuah unit kubus yang dikenai tiga tegangan normal σ_1 , σ_2 , σ_3 . Gambar 2.5a menggambarkan elemen dengan tiga tegangan sumbu, gambar 2.5



b menggambarkan komponen tegangan untuk distorsi, dan 2.5c menggambarkan komponen tegangan untuk perubahan volume. Rumus energi tegangan total yang diberikan ada pada rumus 2.1:

$$U = \frac{1}{2}\sigma_1\epsilon_1 + \frac{1}{2}\sigma_2\epsilon_2 + \frac{1}{2}\sigma_3\epsilon_3 \quad (2.1)$$



Gambar 2.5 Tegangan Elemen Tiga Dimensi
(Bhandari;1994)

Dimana ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 adalah regangan yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 + \nu(\sigma_2 + \sigma_3)) \quad (2.2)$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E}(\sigma_2 + \nu(\sigma_1 + \sigma_3)) \quad (2.3)$$

$$\epsilon_3 = \frac{1}{E}(\sigma_3 + \nu(\sigma_1 + \sigma_2)) \quad (2.3b)$$

sehingga rumus untuk energi regangan total menjadi

$$U = \frac{1}{2E} [(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)] \quad (2.4)$$



Energi regangan total U , diselesaikan dalam dua komponen U_v dan U_d . U_v adalah perubahan volume tanpa distorsi pada elemen dan U_d untuk distorsi pada elemen tanpa perubahan volume. Tegangan juga diselesaikan dalam dua komponen seperti Gambar 2.5. Komponen $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ menyebabkan distorsi pada kubus sementara σ_v menyebabkan perubahan volume. Oleh karenanya dirumuskan sebagai berikut:

$$U = U_v + U_d. \quad (2.5)$$

$$\sigma_1 = \sigma_1 d + \sigma_v$$

$$\sigma_2 = \sigma_2 d + \sigma_v$$

$$\sigma_3 = \sigma_3 d + \sigma_v$$

Tegangan *von mises* menurut (Bhandari 1985) diperoleh menggunakan persamaan yang dirumuskan sebagai berikut:

$$U = U_v + U_d$$

$$U_v = \frac{(1-2\nu)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2}{6E}. \quad (2.6)$$

$$U_d = U - U_v$$

$$U_d = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2] - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1) -$$

$$U_v = \frac{(1-2\nu)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2}{6E}$$

$$U_d = \frac{(1+\nu)}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]. \quad (2.7)$$



Dalam uji tarik sederhana, ketika spesimen mulai luluh, maka besar elemen tegangannya adalah $\sigma_1 = \sigma_y, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$ sehingga,

$$Ud = \left(\frac{(1+\nu)}{6E} \right) \sigma_y^2. \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.8) dan (2.9), kriteria tegangan kegagalan untuk teori energi distorsi (tegangan *von mises*) dirumuskan sebagai berikut.

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1\sigma_2)^2 + (\sigma_2\sigma_3)^2 + (\sigma_3\sigma_1)^2]}. \quad (2.9)$$

Untuk keadaan tegangan dua dimensi, $\sigma_3 = 0$ maka,

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

Pada dasarnya tegangan dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada suatu satuan luas, secara matematis menurut (Shigley dan Mitchell;1984) definisi tersebut dapat ditulis sebagai berikut

$$\sigma = \frac{F}{A}. \quad (2.10)$$

Tegangan efektif von mises (σ') didefinisikan sebagai tegangan tarik uniaksial yang dapat menghasilkan energi distorsi yang sama dengan yang dihasilkan oleh kombinasi tegangan yang bekerja.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \quad (2.11)$$

atau,



$$(\sigma')^2 = (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)$$

Untuk kasus tegangan dua dimensi $\sigma_2 = 0$ maka,

$$(\sigma')^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2$$

$$(\sigma')^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2 \quad (2.12)$$

$$\text{Kegagalan akan terjadi apabila } \sigma'x \geq \frac{\sigma_y}{n}. \quad (2.13)$$

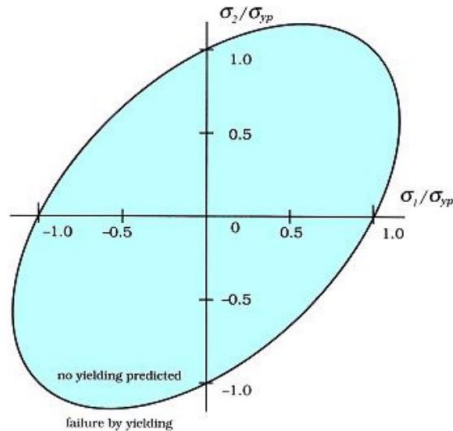
Untuk geseran murni

$$\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau \text{ dan } \sigma_2 = 0$$

$$\sigma_y = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_1 + \sigma_1^2 = 3\sigma_1^2 = 3\tau_{max}^2 \quad (2.14)$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} = 0,577\sigma_y = \tau_{max}$$

Dari persamaan di atas didefinisikan kekuatan luluh (*yield*) terhadap tegangan geser dari material ulet adalah fraksi dari kekuatan luluh yang didapat dari uji tarik. Dalam bentuk grafik, teori energi distorsi maksimum ditunjukkan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Grafik Representasi Teori Energi Distorsi dalam Tegangan 2 Dimensi (classes.mst.edu)

Dimana:

E = Modulus elastisitas N/m^2

F = gaya

ν = poisson ratio

A = luas penampang

σ_y = tegangan luluh N/m^2

σ' = tegangan von mises

τ = tegangan geser N/m^2

n = faktor keamanan

2.2.2 Teori Tegangan Geser Maksimum

Ide tentang tegangan geser yang berperan dalam menimbulkan kegagalan pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan perancis, Coloumb (1476-1806). Formula kriteria tegangan geser maksimum dipublikasikan oleh Tresca (1864) dan Guest (1900) membuktikannya melalui eksperimen. Sehingga teori ini sering disebut teori Tresca atau Guest *law*. Teori ini menyatakan bahwa kegagalan diprediksi terjadi pada keadaan tegangan multiaksial



jika nilai tegangan geser maksimum sama atau lebih besar dibandingkan tegangan geser maksimum pada saat terjadinya kegagalan dalam pengujian tegangan uniaksial sederhana yang menggunakan spesimen dengan material yang sama (Bhandari, (1994).

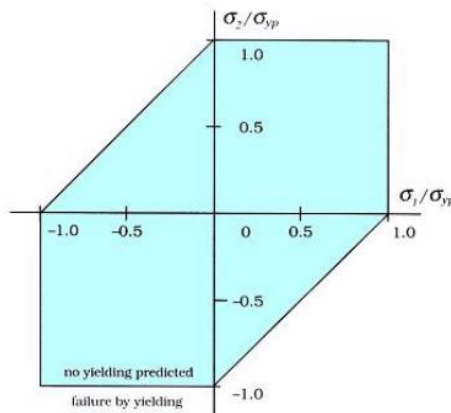
Secara sederhana kegagalan akan terjadi apabila:

$$[\sigma_1 - \sigma_2] \geq \left| \frac{\sigma_y}{n} \right| \quad (2.15)$$

$$[\sigma_2 - \sigma_3] \geq \left| \frac{\sigma_y}{n} \right|$$

$$[\sigma_3 - \sigma_1] \geq \left| \frac{\sigma_y}{n} \right|$$

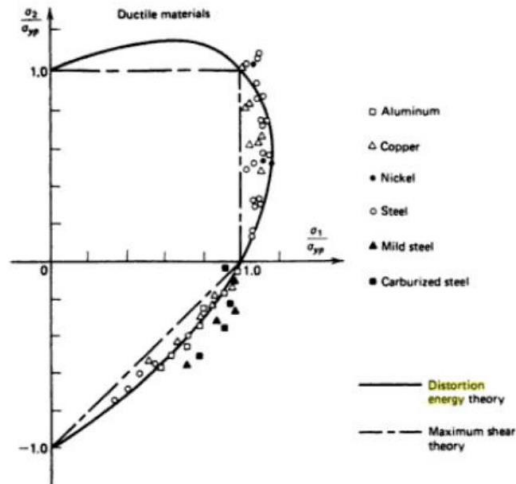
Dimana σ_y adalah kekuatan luluh material pada uji tarik. Jadi kegagalan akan terjadi jika salah satu persamaan di atas terpenuhi. Dalam bentuk grafik tegangan geser maksimum ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Grafik Representasi Teori Geser Maksimum
(classes.mst.edu)



Untuk mengetahui perbandingan antara tegangan ulet dan tegangan geser maksimum kita dapat melihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Bukti Eksperimental kegagalan Luluh Pada Material (Kutz:2002)

Gambar 2.8 memberikan informasi bahwa untuk material ulet, kriteria kegagalan teori energi distorsi lebih akurat dibandingkan teori kegagalan geser maksimum, oleh karena itu tegangan von mises dari teori energi distorsi cenderung digunakan pada analisis tegangan untuk kepentingan komersial serta kode elemen hingga untuk mendapatkan profil tegangan (Bhandari:1994)

2.3. Impact Test

Impact test merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan, tegangan dan regangan suatu pelek terhadap beban impact atau beban kejut yang diterima. Pada pengujian ini pelek yang sudah dipasang ban dipasang pada pemegang (wheel mount) yang membentuk sudut tertentu dari bidang vertikal. Kemudian beban diatur ketinggiannya yang sesuai dengan standar



pengujian. Lalu beban dijatuhkan secara bebas mengenai pelek. Pada pengujian impact test metoda yang digunakan sangat beragam. Metode –metode ini digunakan sesuai jenis kendaraan. Metoda ini antara lain impact test 13⁰ methods untuk pelek mobil dengan jenis kendaraan penumpang, impact test 30⁰ methods untuk pelek mobil dengan jenis kendaraan niaga dengan konstruksi peralatan uji yang membentuk sudut 30⁰ antara pelek yang sudah dipasang ban dengan pemegang pelek tersebut, dan impact test 90⁰ methods untuk pelek sepeda motor. Pada pengujian impact test yang akan dibahas menggunakan pengujian dengan metoda impact test 13⁰ methods, pada gambar 2.9 adalah penampakan alat uji Impak pada PT. Molindo Engineering



Gambar 2.9 Impact Test 13⁰ Methods (<http://jiurongwheel.com>)



2.2.1 Spesifikasi Alat

Pada Tabel 2.1 akan dijelaskan spesifikasi alat yang digunakan untuk pengujian impact pada PT. Molindo Engineering.

Tabel 2.1 Spesifikasi Mesin Impak PT.Molindo Engineering

Machine	IMPACT TEST 13 MACHINE FOR CAR WHEEL
Merk	ME - ITM13
Serial	ITM 13 - DPI 002
Year of MFG	Nov-15
Max Drop High	600 mm
Rim Diameter	12" - 24"
Weight Capacity	1215 Kg
Voltage	380 V
Frequency	50 Hz

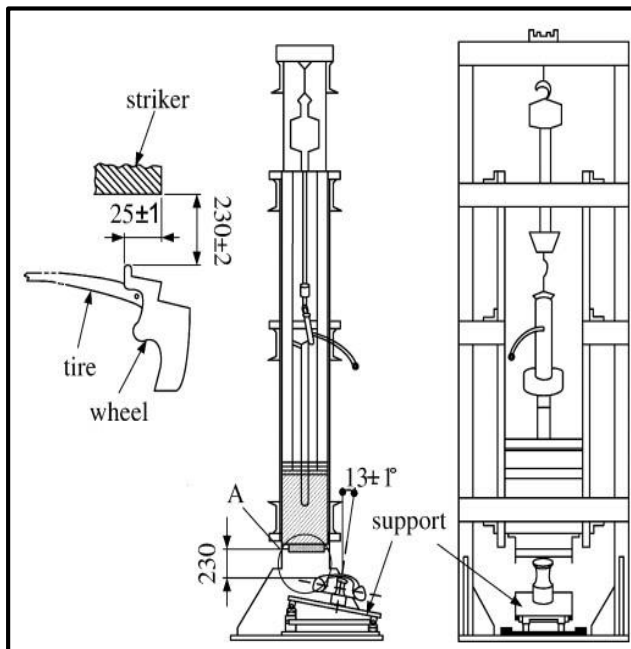
Spesifikasi alat pengujian impact test ini sesuai dengan mesin dari PT Morindo Engineering. Mesin pengujian ini merupakan "*Special purpose machine*" sehingga semua spesifikasi disesuaikan dengan permintaan dan standar untuk pengetesan pelek, mesin ini didapatkan dari study litelatur yang berasal dari penelitian sebelumnya yang tujuannya digunakan untuk mendukung penelitian ini untuk mendapatkan data aktual yang akan diolah dalam simulasi, seperti ketinggian dan kecepatan

2.2.2 Metoda Pengujian

Pada pengujian impact test metoda yang digunakan adalah impact test 13⁰methods. Pada metoda ini pelek yang digunakan adalah pelek mobil penumpang (passenger car). Pengujian ini digunakan untuk menguji daya tahan terhadap benturan atau beban



kejut (impact test) untuk kendaraan penumpang. Peralatan uji harus mempunyai konstruksi dimana pelek yang sudah dipasang ban dipasang pada pemegang yang membentuk sudut $13^{\circ} \pm 1^{\circ}$ dari bidang vertikal. Syarat lolos uji dari SNI 1896:2008 adalah pelek harus bebas dari keretakan yang diperiksa dengan cairan penetran (dye liquid penetrant) dan bebas dari kebocoran cepat. Untuk kendaraan penumpang (metoda 13⁰) tekanan udara ban tidak boleh berkurang 100% dalam waktu 60 detik dan untuk kendaraan niaga menggunakan metode 30⁰ dengan ketentuan berdasarkan SNI 1896;2008 tekanan udara tidak boleh berkurang 50% atau lebih dalam waktu 30 detik setelah pengujian, keretakan yang terjadi di bagian flange yang terkena langsung dengan beban bentur masih diperbolehkan



Gambar 2.10 Set-up Impact Test 13 (Standart Nasional Indonesia. 1896. 2008)



Pada gambar 2.10 dijelaskan gambaran mengenai seting pengujian impak dengan sudut 13^0 yang menurut SNI digunakan untuk kendaraan penumpang seperti mobil, dalam penelitian yang digunakan kali ini adalah kendaraan niaga yaitu truk, mesin yang digunakan pada PT Molinda adalah digunakan oleh penelitian sebelumnya oleh (M.Nabilah Akbar, 2017) yang mengujikan impak velg mobil, karena pada penelitian ini penulis bertujuan mencari distribusi tegangan pada rim velg truk maka yang ditumbuk bukan pada bagian samping atau *flange* tetapi langsung pada bagian rimnya

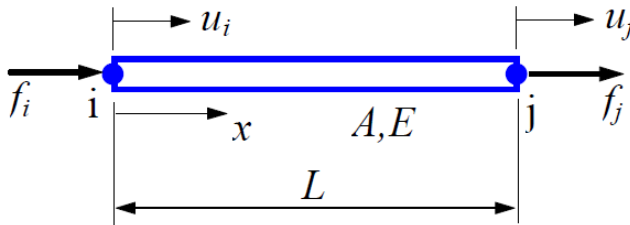
2.4 Metode Elemen Hingga

Finite Element Method atau metode elemen hingga adalah sebuah metode yang memiliki ide untuk membagi objek yang kompleks menjadi blok-blok atau elemen sederhana, atau membagi objek yang kompleks menjadi pecahan pecahan kecil yang lebih mudah dikelola yang disebut elemen (J.N. Reddy, 1993). *Finite Element Method* (FEM) disebut juga *Finite Element Analysis* (FEA), adalah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan mode *shape*-nya, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida (S-Moaveni, 1999). Pada dasarnya analisa metode elemen hingga biasanya dapat dilakukan dengan menganalisa elemen 1-D, elemen 2-D, atau Elemen 3-D. Untuk elemen 1-D sebagai contoh adalah elemen spring, trust, beam, pipa, untuk elemen 2-D sebagai contoh adalah elemen membrane, pelat, dan shell, untuk elemen 3-d dapat berupa elemen solid.

Berikut akan diturunkan sebuah contoh sederhana dari sebuah perhitungan bar untuk menghitung tegangan di dalam bar, dalam penurunan ini bersifat linear statis analisis dimana material memiliki sifat deformasi yang kecil, material bersifat elastis, dan beban yang statis.



Perhitungan analisis linear dapat memberikan banyak informasi mengenai sifat dari struktur, dan dapat menjadi pendekatan dari berbagai macam analisis. Analisis linear juga dapat menjadi dasar untuk menghitung kasus non-linear. Pada gambar 2.11 terdapat gambar sebuah elemen bar yang akan dianalisis berdasarkan metode elemen hingga.



Gambar 2.11 Permisalan Elemen Bar dengan Dua Nodes (i,j)
(Yijun liu, 2003)

A = Luas area tegak lurus

L = Panjang

E = Modulus Elastisitas

U = Perpindahan

ϵ = Regangan

Hubungan Strain- displacement

$$\epsilon = \frac{du}{dx} \quad (2.16)$$

Hubungan Stress – strain

$$\sigma = E \epsilon \quad (2.17)$$

Mengasumsi bahwa perpindahan berjalan linear terhadap sumbu axis



$$u(x) = \left(1 - \frac{x}{L}\right) u_i + \frac{x}{L} u_j \quad (2.18)$$

$$\varepsilon = \frac{u_j - u_i}{L} = \frac{\Delta}{L} \quad (2.19)$$

$$\sigma = E\varepsilon = \frac{E\Delta}{L} \quad (2.20)$$

Dengan menghubungkan rumus tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.21)$$

Menggabungkan rumus (2.20) dan Rumus (2.21) menjadi

$$F = \frac{EA}{L} \Delta = k\Delta \quad (2.22)$$

Dengan menganalogikan sifat dari bar dengan sifat kekakuan pegas maka didapatkan

$$k = \frac{EA}{L} \quad (2.23)$$

Apabila ditulis di dalam persamaan matriks maka nilai beban (F) memiliki fungsi

$$\frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_i \\ f_j \end{Bmatrix} \quad (2.24)$$

Untuk mendapatkan persamaan tegangan, persamaan perlu mendefinisikan persamaan linear berupa;

$$N_i(\xi) = 1 - \xi \quad N_j(\xi) = \xi \quad (2.25)$$

Dimana ;

$$\xi = \frac{x}{L} \quad 0 \leq \xi \leq 1 \quad (2.26)$$

Sehingga persamaan (2.25) dapat ditulis menjadi :



$$u(x) = u(\xi) = N_i(\xi)u_i + N_j(\xi)u_j \quad (2.27)$$

Persamaan (2.27) dapat dibuat menjadi lebih sederhana

$$u = [N_i \quad N_j] \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} = \mathbf{N} \mathbf{u} \quad (2.28)$$

Memasukan persamaan (2.27) kedalam persamaan (2.28) sehingga,

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} = \left[\frac{d}{dx} \mathbf{N} \right] u = \mathbf{B} \mathbf{u} \quad (2.29)$$

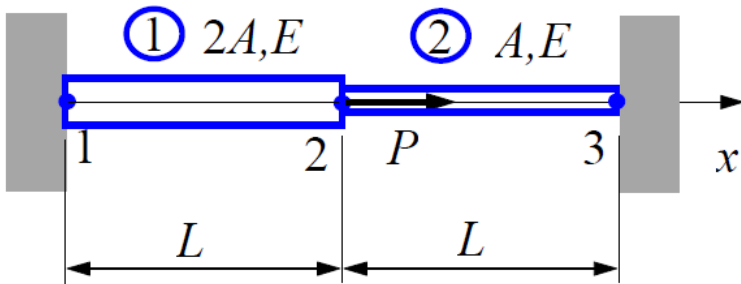
\mathbf{B} adalah elemen dari matriks perpindahan regangan, yang berlain

$$\mathbf{B} = \left[-1/L \quad 1/L \right] \quad (2.30)$$

Sehingga nilai tegangan dapat dituliskan menjadi

$$\sigma = E\varepsilon = \mathbf{E} \mathbf{B} \mathbf{u} \quad (2.31)$$

Pada gambar 2.12 berikut ini akan dihitung tegangan dari sebuah sistem bar sederhana yang dijepit pada kedua ujungnya dijepit



Gambar 2.12 Dua Elemen Bar yang Dijepit Kedua Ujung Tepi dengan Diberi Gaya Sebesar P di node kedua (Yijun liu, 2003)

Menndefinisikan matriks kekakuan di setiap elemen menggunakan rumus (2.32)



Elemen 1,

$$\mathbf{k1} = \frac{2EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} U_1 \\ U_2 \end{matrix} \quad (2.32)$$

Elemen 2,

$$\mathbf{k2} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 0 \\ -2 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{Bmatrix} \quad (2.33)$$

Dimana perpindahan(u) pada node 1 dan 3 adalah nol, dan F_2 bernilai P, sehingga didapatkan

$$\frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 0 \\ -2 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ u2 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F1 \\ P \\ F3 \end{Bmatrix} \quad (2.34)$$

Membuat sederhana persamaan tersebut menjadi,

$$\frac{EA}{L} [3]\{u2\} = \{P\} \quad (2.35)$$

Sehingga nilai U_2

$$u2 = \frac{PL}{3EA} \quad (2.36)$$

Sehingga nilai perpindahan di masing-masing node

$$\begin{Bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{Bmatrix} = \frac{PL}{3EA} \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.37)$$

Dari masing-masing perhitungan tersebut dapat dicari nilai dari tegangan di masing-masing elemen.

Stress di elemen 1,

$$\sigma_1 = E\varepsilon_1 = \mathbf{EB1u1} = E \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u1 \\ u2 \end{Bmatrix} \quad (2.38)$$



$$= E \frac{u_2 - u_1}{L} = \frac{E}{L} \left(\frac{PL}{3EA} - 0 \right) = \frac{P}{3A} \quad (2.39)$$

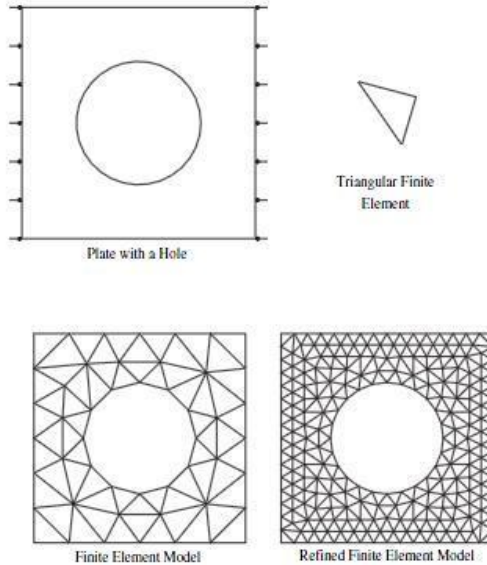
Stress di elemen 2,

$$\sigma_2 = E \varepsilon_2 = E B_2 u_2 = E \begin{bmatrix} -1/L & 1/L \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \quad (2.40)$$

$$= E \frac{u_3 - u_2}{L} = \frac{E}{L} \left(0 - \frac{PL}{3EA} \right) = -\frac{P}{3A} \quad (2.41)$$

Metode elemen hingga sangat tepat digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution/analytical solution* tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.

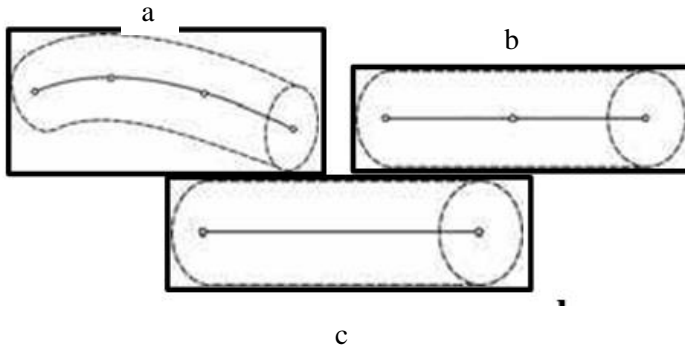
Untuk menggambarkan dasar pendekatan FEM perhatikan gambar dibawah ini, gambar sebuah *plate* yang akan dicari distribusi temperaturnya. Bentuk geometri *plate* di "*meshing*" menjadi bagian-bagian kecil bentuk segitiga untuk mencari solusi yang berupa distribusi temperatur *plate*. Sebenarnya kasus ini dapat diselesaikan dengan cara langsung yaitu dengan persamaan kesetimbangan panas (*heat balance equation*). Namun untuk geometri yang rumit seperti *engine block* diperlukan FEM untuk mencari distribusi temperatur, gambar dibawah ini adalah contoh *meshing* sederhana yang ditampilkan pada gambar 2.13. (Yijun liu, 2003)



Gambar 2.13 Meshing pada Plate. (Jacob Fish & Ted Belytschko, 2007)

2.4.1 Elemen Satu Dimensi

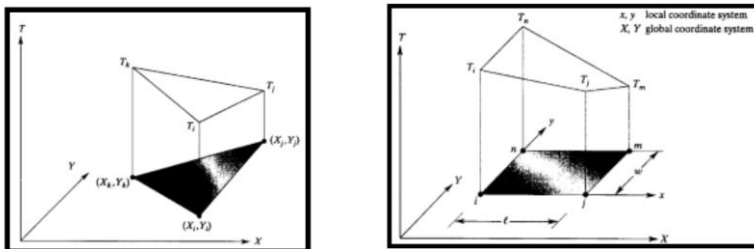
Elemen satu dimensi terdiri dari garis (*line*). Tipe elemen ini yang paling sederhana, yakni memiliki dua titik nodal, masing-masing pada ujungnya, disebut elemen garis linier. Dua elemen lainnya dengan orde yang lebih tinggi, yang umum digunakan adalah elemen garis kuadratik dengan tiga titik nodal dan elemen garis kubik dengan empat buah titik nodal seperti pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Elemen Satu Dimensi (Susatio, 2004)

2.4.2 Elemen Dua Dimensi

Elemen dua dimensi terdiri dari elemen segitiga (triangular) dan elemen segiempat (quadrilateral) seperti gambar 2.15. Elemen orde linier pada masing-masing tipe ini memiliki sisi berupa garis lurus, sedangkan untuk elemen dengan orde yang lebih tinggi dapat memiliki sisi berupa garis lurus, sisi yang berbentuk kurva ataupun dapat pula berupa kedua-duanya.

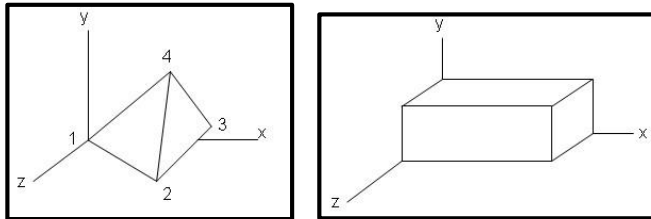


Gambar 2.15 Elemen 2D Segitiga dan Segi Empat (Moaveni, 1994)



2.4.3 Elemen Tiga Dimensi

Elemen tiga dimensi terdiri dari elemen tetrahedron dan elemen balok seperti gambar 2.16



Gambar 2.16 Elemen Tiga Dimensi *Tetrahedron* Dan Balok (Moaveni, 1994)

Pada penelitian yang dilakukan kali ini, rim memiliki profil yang rumit dan banyak garis garis lengkung yang tidak merata pada permukaan velg, karena itu penulis menggunakan metode *v-sweep* yang menggunakan elemen hexahedron atau yang bisa disebut dengan elemen balok untuk memudahkan penelitian karena secara otomatis akan menyesuaikan dan dapat mengurangi jumlah meshing karena jika menggunakan tetrahedron maka jumlah elemen dapat mencapai dua kali lipatnya dan itu akan membuat berat dalam proses *rendering* ketika *running*

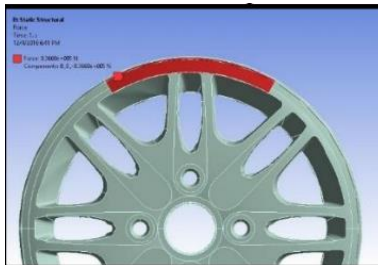
2.5 Study Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (M. Nabilah Akbar, 2017), menggunakan material velg mobil Al 356F, hal ini tentunya sangat berbeda dengan material velg truk yang digunakan penulis yaitu material SS400 untuk truk, jika dilihat dari *material properties* yang digunakan pada AL 356-F pun lebih kecil dibandingkan material SS400 yang memiliki tingkat *stiffness* lebih besar, pada gtabel 2.2 dapat dilihat parameter material yang digunakan dalam penelitian sebelumnya.

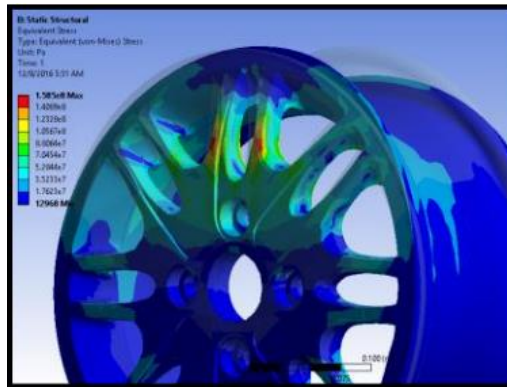
**Tabel 2.2** Parameter Penelitian Sebelumnya

Parameter	Simbol	Harga	satuan
Modulus Young	E	72,4 X 109	N/M2
Masa Jenis Material	p	2689	Kg/m
Poison Ratio	v	0,33	

Selain pada material properties pada penelitian yang dilakukan sebelumnya juga menggunakan metode *static structural* dan *explicit dynamic*, software yang dilakukan juga tidak menggunakan ANSYS dan lebih ke arah desain dari gambar 2.17 berikut juga dapat dilihat bahwa pembebanan yang dilakukan tertuju pada samping atas bagian velg bukan pada bagian rim sehingga berbeda dengan yang dilakukan dalam penelitian kali ini

**Gambar 2.17** Pembebanan Pada Penelitian Sebelumnya Menggunakan Metode Static Structural (M.Nabilah Akbar,2017)

Dari hasil pembebanan tersebut akan didapatkan hasil tegangan von mises dan selanjutnya akan dijelaskan validasi keamanan yang digunakan dalam penelitian sebelumnya yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian berikutnya, untuk penjelasannya dapat dilihat pada gambar 2.18

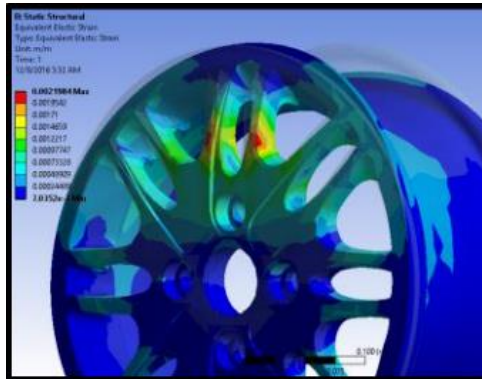


Gambar 2.18 Hasil Tegangan Von mises Pada Penelitian Sebelumnya (M. Nabilah Akbar, 2017)

Pada pengujian impact drop-test dengan standarisasi SNI 1896:2008, pelek uji masuk dalam kriteria gagal atau tidak aman jika terjadi crack pada pelek uji yang diberi cairan penetran. Kondisi crack pada simulasi dapat dilihat dari tegangan dan regangan elastis nya. Untuk kondisi crack pada simulasi tegangan ekuivalen pada pelek yang terjadi, harus lebih kecil dari pada tegangan Ultimate Tensile Stress (UTS). Nilai tegangan maksimum (UTS) pada pelek sebesar 220 106 Pa. Tegangan yang melebihi UTS memiliki kecenderungan untuk mengalami crack. Kondisi crack pada simulasi regangan elastis ekuivalen pada pelek yang terjadi harus memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai regangan elastis saat fracture (elongation at break). Nilai regangan elastis fracture ini didapatkan dari regangan plastis material sebesar 0,059 untuk material A356- F. Dengan kondisi tersebut, gambar 2.18 menunjukkan adanya tegangan yang terjadi setelah dilakukan simulasi. Tegangan ekuivalen yang terjadi menunjukkan angka 158,5 106 Pa pada bagian jari jari pelek. Nilai tegangan maksimum (UTS) pada pelek sebesar 220 106 Pa. Untuk kondisi kedua, pada regangan elastis ekuivalen gambar 2.19 menunjukkan



angka 0,0022. Tegangan yield dan Tegangan UTS pada material ini adalah 150 MPa dan 220 MPa. Dari nilai properties material tersebut dibanding dengan tegangan dan regangan ekuivalen hasil simulasi masih dibawah nilai UTS, dimana hasil simulasi ini menunjukkan bahwa pelek tersebut masih aman. Begitu pula dengan nilai regangan elastis maksimum pada hasil simulasi. Jika regangan elastis dibandingkan dengan regangan elastis ketika fracture maka regangan elastis maksimum hasil simulasi lebih kecil daripada 0,059. Hal ini menunjukkan bahwa pelek yang disimulasikan dengan analisa static structurals tersebut aman



Gambar 2.19 Hasil Regangan Elastis Pada Penelitian Sebelumnya (M. Nabilah Akbar, 2017)

2.6 Software Metode Elemen Hingga ANSYS

2.6.1 ANSYS

ANSYS adalah program bantu dalam analisa metode elemen hingga. Program ANSYS ini ada beberapa program diantaranya, *fluid dynamics*, *structural mechanics*, *electromagnetics*, *systems and multiphysics*. Untuk pengerjakan analisa struktur ini dalam ansys digunakan program Structural



mechanics (Mechanical APDL). Secara umum langkah-langkah yang dilakukan dalam menggunakan software ANSYS yaitu Problem Specifications, Define Materials, Problem Descriptions, Build Geometry, Generate Mesh, Attribute Mesh to model, Boundary condition, Obtains Solutions, Review Result (Bayu AN, 2015)

2.6.2 Garis Besar Simulasi dengan ANSYS

a. *Preprocessing*

Preprocessing adalah langkah awal dalam proses metode elemen hingga. Pada preprocessing terdapat beberapa fungsi Dimana kita harus men-set secara detail fungsi – fungsi tersebut, karena fungsi – fungsi tersebut akan menghasilkan perhitungan yang spesifik pada benda yang akan dianalisa, Fungsi – fungsi yang terdapat pada *preprocessing* adalah: Modeling, Elemen Type, Material Properties, Meshing, Entities (Bethara Putra, 2008)

b. *Solution*

Langkah berikutnya dalam proses metode elemen hingga adalah *Solutions*, pada tahapan ini metode elemen hingga telah mendekati proses akhir, yaitu proses analisa dan perhitungan otomatis yang dilakukan ANSYS, tetapi sebelum mencapai proses perhitungan dan analisa ada beberapa langkah dalam proses *Solutions* yang harus dilalui terlebih dahulu. Langkah – langkah tersebut adalah: *constrain, initial velocity, loading option, Time Control, solven* (Bethara Putra, 2008)

c. *General Postprocessing*

Setelah proses desain dan analisa selesai, langkah berikutnya adalah proses *General Postprocessing*, Proses ini digunakan untuk melihat hasil analisa, animasi gerakan benda yang dianalisa dan melihat hasil perhitungan serta grafik (Bethara Putra, 2008)



a. Modul LS-DYNA

Dalam memodelkan fenomena balistik impact, hal yang harus diperhatikan adalah bagaimana kelak peluru merespon beban impact yang diterimanya dan bagaimana peluru bisa hancur menjadi fragmen-fragmen kecil. Dalam perangkat lunak ANSYS, seperti yang sudah kita bahas pada sub bab aplikasi metode elemen hingga di ANSYS, perangkat lunak ini dalam membuat simulasi dan analisisnya menggunakan tiga pendekatan, yaitu preprocessor, solution processor, dan general postprocessor, juga time history. postprocessor. Namun pada kasus dimana deformasi yang terjadi sangat besar, juga respon dinamis dari suatu struktur sangat dibutuhkan dan terjadi dalam tempo waktu yang singkat, maka dibutuhkan suatu prosesor atau solver untuk menganalisa hal ini.

Untuk menjawab permasalahan ini, maka dikembangkanlah suatu solver pada ANSYS yang bernama LS DYNA. LS DYNA adalah kode elemen hingga yang umum digunakan untuk menganalisa deformasi statis yang besar atau respons dinamis dari struktur, termasuk struktur yang berinteraksi dalam suatu fluida. Metode yang digunakan oleh solver ini adalah didasarkan pada integrasi waktu eksplisit. Dimana solver ini sudah dilengkapi algoritma yang diatur untuk mengetahui secara komprehensif (lebih komprehensif dari solver di ANSYS yang biasa) fenomena fisis yang terjadi dalam durasi yang singkat, deformasinya besar, dan kompleks dalam problem kontak/impact. Problem kontak yang kompleks, seperti pada penempaan logam (metal stamping) dapat dimodelkan dengan sederhana, dengan mendefinisikan garis yang menghubungkan node sepanjang draw bead. Dan juga keunggulan daripada LS DYNA Solver ini adalah daerah transisi mesh tidak diperlukan. LS DYNA sejauh ini memiliki sekitar seratus model material dan equation of state (persamaan dalam kondisi tertentu) untuk menunjang sifat material yang begitu beragam. Proses riset dan pengembangan dari LS DYNA Solver ini sebenarnya sudah dimulai dari pertengahan tahun tujuh puluh. Dimana versi pertama dari solver ini adalah



DYNA3D yang dikembangkan oleh Lawrence Livermore National Laboratory. Perkembangan yang sangat penting adalah pada tahun 1997/1998 dari Livermore Software Technology Corporation (setelah founder nya keluar dari Lawrence Livermore National Laboratory), adalah ditemukannya kriteria kegagalan yang sifatnya umum, tidak bergantung pada jenis material, yaitu *MAT_ADD_EROSION, dimana kriteria kegagalan ini sangat berarti untuk analisa kegagalan pada beberapa kasus, seperti perforasi pada peluru, otomotif, dan analisa lainnya. Di samping itu, metode Smoothed Particle Hydrodynamic bisa menggunakan LS DYNA Solver ini. (Hallquist, 1996)

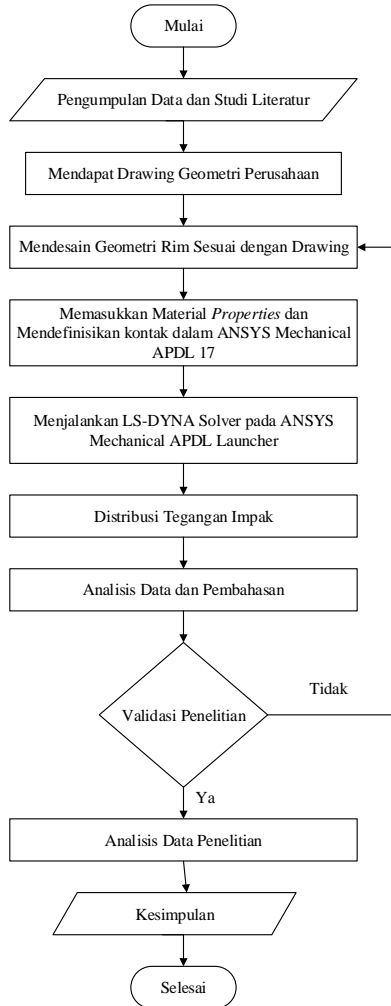


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir dalam penelitian ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan



BAB III METODOLOGI

3.2 Spesifikasi Material Penelitian

3.2.1 Material Penelitian

Dalam pengujian kali ini material rim velg yang digunakan adalah material SS400 yang berasal dari perusahaan yang datanya dapat dilihat dalam Tabel 3.1, kemudian untuk pilihan material modifikasi adalah material baja AISI 1018 yang datanya ada pada Tabel 3.2, dan material baja mangan silikon ASTM A299 pada Tabel 3.3. Kemudian material striker yang digunakan adalah material beton aspal yang didapat dari jurnal penelitian rekayasa dan manajemen transportasi yang berjudul “Pengaruh Suhu Terhadap Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Lapis Aus (AC-WC) dengan Kapur Sebagai Filler” (Arselina dkk, 2012) yang datanya ada pada tabel 3.4

Tabel 3.1 Spesifikasi Material SS400

Material	Densitas	Modulus Elastisitas	Poison Ration
SS400	7860 kg/m ³	210 GPa	0.26

Tabel 3.2 Spesifikasi Material Baja AISI 1018

Material	Densitas	Modulus Elastisitas	Poison Ration
AISI 1018	7870 kg/m ³	205 GPa	0.29



BAB III METODOLOGI

Tabel 3.3 Spesifikasi Material Baja Mangan Silikon
ASTM A299

Material	Densitas	Modulus Elastisitas	Poison Ration
Manganes Silicon Alloy	7800 kg/m ³	200 GPa	0,29

Tabel 3.4 Spesifikasi Material Beton Aspal

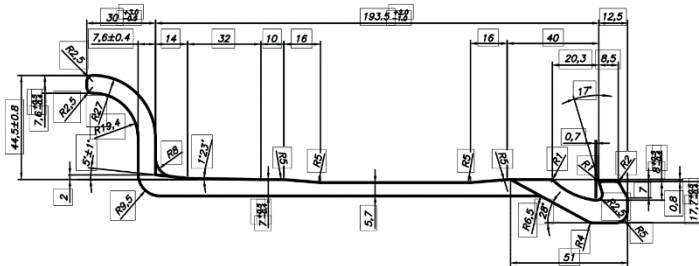
Material	Densitas	Modulus Elastisitas	Poison Ration
Beton Aspal	2234 kg/m ³	594.75 MPa	0.36

3.2.2 Geometri Penelitian

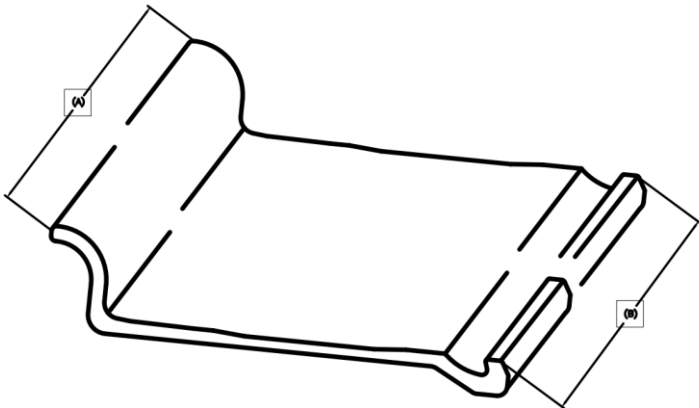
Geometri pada penelitian ini berupa rim velg truk yang digunakan pada PT. Autokorindo Pratama Gresik yang memiliki *profile* tertentu pada bagian rimnya, dan pada penelitian kali ini yang akan digunakan adalah jenis 750Vx20, berikut adalah Gambar Teknik Rim Wheel yang digunakan pada PT. Auto Korindo Pratama Gresik yang nantinya akan diterjemahkan menjadi geometri menggunakan ANSYS Mechanical APDL 17.0 dan penumbuk yang akan digunakan berbentuk balok yang diambil berdasarkan jurnal terdapat penelitian impak sebelum ini dan dengan ukuran yang dimodifikasi oleh penulis:

3.2.2.1 Geometri Rim Velg Truk

Geometri ini adalah dasar dalam pangujian impak kali ini, geometri ini berasal dari kondisi nyata bentuk rim truk yang telah digambar perusahaan PT. Autokorindo Pratama dalam gambar teknik menggunakan software autocad. Berikut gambar teknik yang digunakan PT. Autokorindo Pratama Gresik:



Gambar 3.2 Gambar Teknik Plat Rim 750Vx20 Tampak Samping (PT. Autokorindo Pratama Gresik)

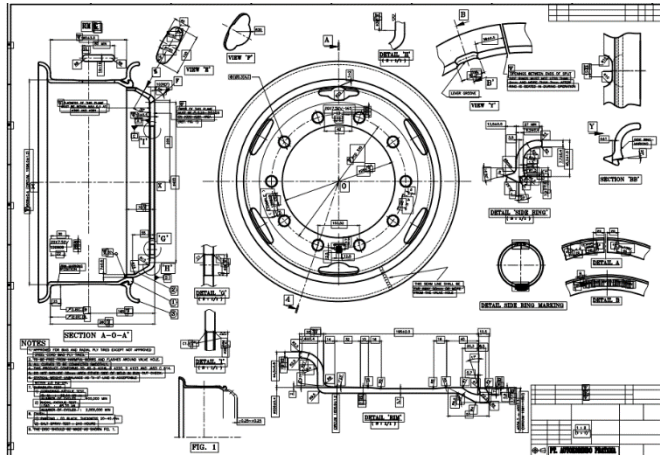


Gambar 3.3 Gambar Teknik Slab Rim Tampak Depan
(PT. Autokorindo Pratama Gresik)



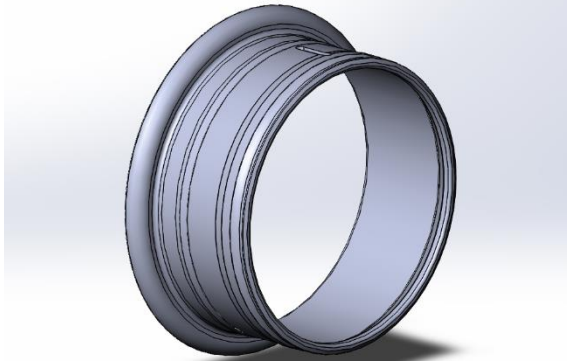
BAB III METODOLOGI

Geometri pada Gambar 3.2 dan 3.3 adalah gambar geometri rim velg sebelum di roll dan masih berbentuk plat yang nantinya akan dijadikan acuan dalam proses rolling dalam pemodelan, pada drawing yang ditunjukkan gambar 3.2 dan 3.3 di atas juga dapat diketahui dimensi yang akan digunakan.



Gambar 3.4 Drawing Dimensi Melingkar Velg Truk
(PT. Autokorindo Pratama Gresik)

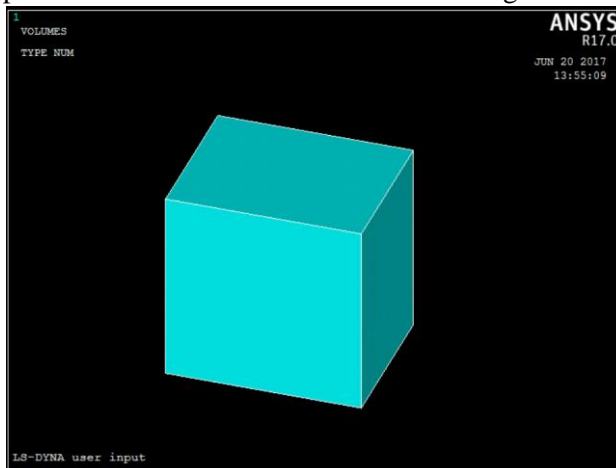
Pada gambar 3.4 terdapat dimensi velg yang akan digunakan penulis untuk memutar material rim velg menggunakan metode *extrude* yang awalnya berbentuk plat menjadi bentuk ring atau lingkaran seperti yang terpasang pada truk yang kita ketahui pada umumnya, untuk lebih jelasnya akan ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Geometri Rim Velg Truk

3.2.2.2 Geometri *Striker*

Geometri *striker* yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang ditunjukkan gambar 2.6 berupa balok yang berukuran 0.05m x 0.04m x 0.05m, ini disesuaikan dengan jurnal yang ada sebelumnya dan acuan pengujian mesin eksperimental dimana ukuran disesuaikan dengan rim simulasi,



Gambar 3.6 Geometri Striker Balok Pengujian Impak



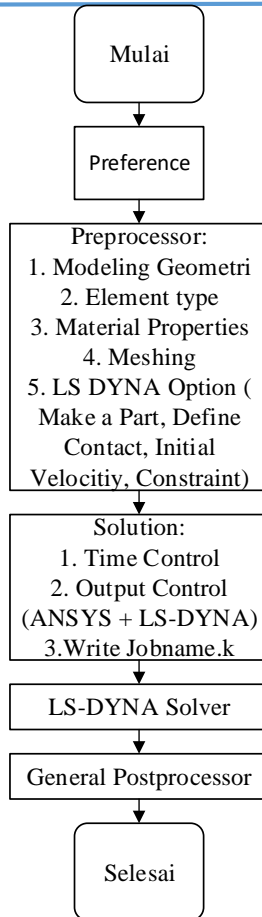
3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. AUTOCAD 2016, merupakan software yang digunakan untuk membaca desain dan dimensi yang akan diterjemahkan dalam modeling ANSYS
2. ANSYS Mechanical APDL 17.0, merupakan *software* inti yang digunakan untuk menyimulasikan penelitian menggunakan Metode Elemen Hingga
3. LS-Dyna Solver, adalah solver pihak ketiga yang memproses coding dari ANSYS

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini yaitu tercantum pada Gambar 3.7, melakukan pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak (software) ANSYS, yaitu sebagai berikut :



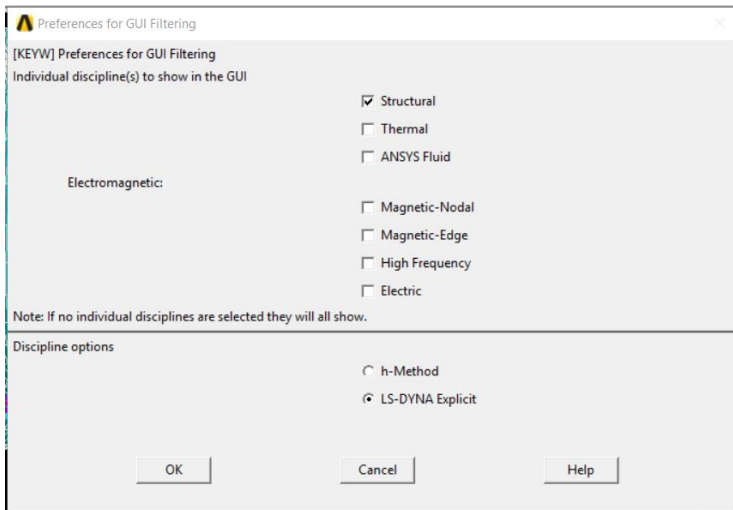
Gambar 3.7 Diagram Alir Permodelan



BAB III METODOLOGI

3.4.1 Permodelan Rim Velg Truk

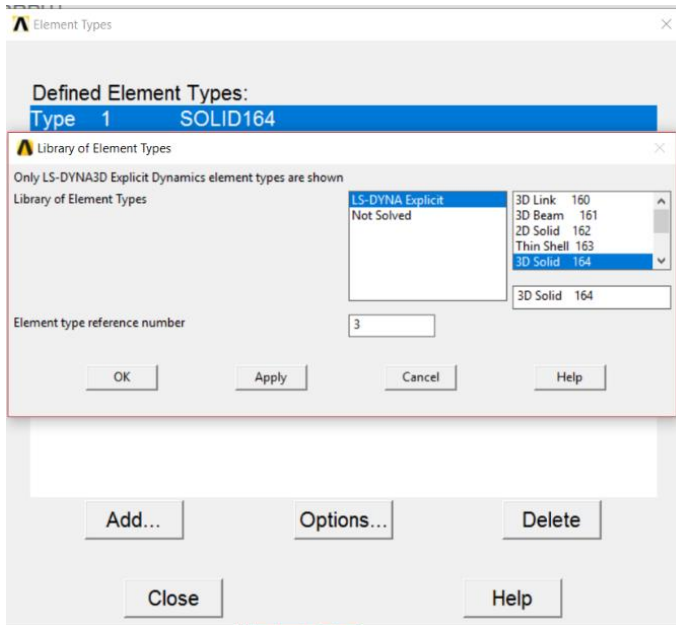
Dalam proses pembuatan model rim velg truk, yang pertama kali dilakukan adalah menentukan *preference* pada ANSYS, dalam pengujian impak kali ini *preference* yang dibutuhkan adalah struktural dan LS-DYNA *explicit*, karena dalam penelitian ini yang akan dicari adalah perubahan struktur akibat tegangan impak dan LS-DYNA explicit dynamic adalah sebagai pendukung dalam proses penentuan kontak dan sebagai *solver* pembantu pada akhir pemodelan yang dilakukan, pada Gambar 3.8 berikut ini adalah tampilan jendela *Preference*.



Gambar 3.8 Tampilan Preference pada ANSYS

3.4.2 Penentuan Element Type

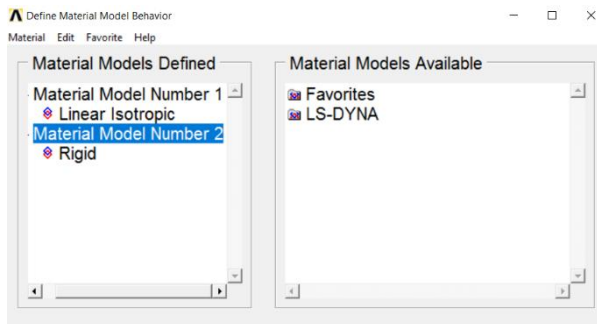
Dalam permodelan impak rim velg truk kali ini element type yang digunakan adalah solid 164, element solid 164 adalah element yang digunakan untuk permodelan Explicit structural solid berbentuk 3d jadi cocok untuk digunakan dalam permodelan kali ini.



Gambar 3.9 Tampilan Define Element Type

3.4.3 Menentukan Material Properties

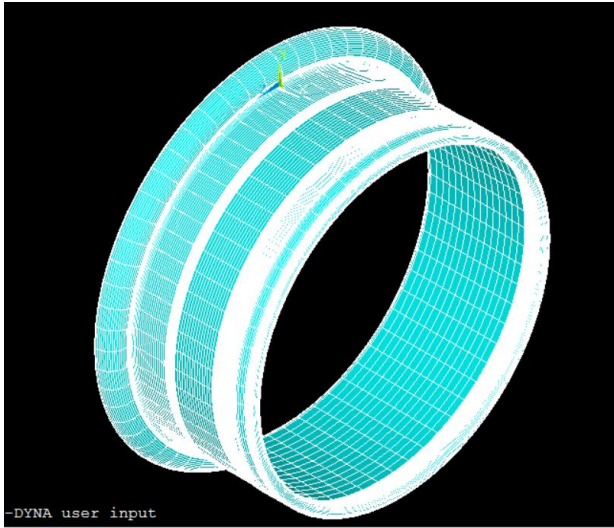
Pada penelitian ini analisa yang dilakukan adalah analisa struktural dari hasil tumbukan 2 buah part material yaitu striker dan rim, oleh karena itu material properties yang akan diinputkan terdiri dari material number 1 dan 2, untuk tampilan material *properties* dapat dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Tampilan Input Material Properties

3.4.4 Meshing

Meshing adalah melakukan pembagian benda menjadi elemen – elemen yang lebih kecil yang nantinya akan dilakukan pemodelan simulasi impak dan akan terjadi kontak antara dua material yang bertumbukan. Meshing yang digunakan dalam penelitian ini adalah meshing volume dengan metode sweep dengan elemen hexahedral jumlah keseluruhan dari element rims setelah di mesh adalah 52020, berikut ini adalah penampakan material setelah dimeshing yang akan dijelaskan dalam gambar 3.11 untuk meshing rim velg dan pada gambar 3.12 untuk striker



Gambar 3.11 Material Rim Setelah di Meshing

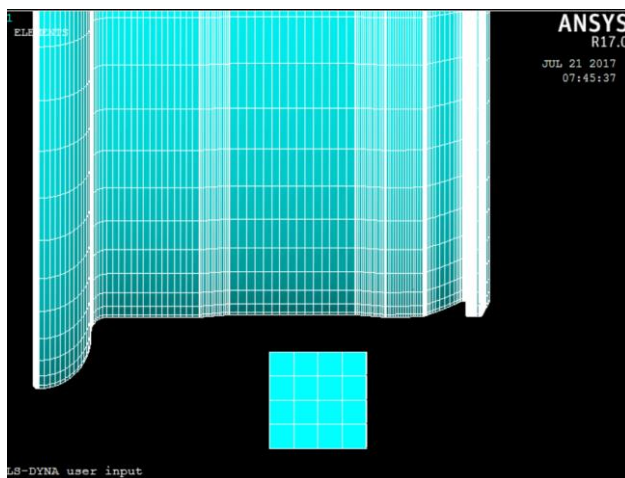


Gambar 3.12 Material Striker Balok Setelah di Meshing



3.4.5 Permodelan Kontak

Dalam penelitian kali ini untuk membuat striker menumbuk rim dibutuhkan pendefinisian material model dan pendefinisian kontak yang tepat agar LS-DYNA solver dapat memecahkan coding yang telah dibuat dan memberikan hasil, untuk material model rim yang dipakai pada penelitian kali ini adalah linear isotropic dan untuk striker menggunakan rigid body, setelah material model yang digunakan sesuai berikutnya mendefinisikan kontak, dan kontak yang digunakan pada penelitian kali ini adalah *General sts* yang telah ada pada LS-DYNA option, jarak antara rim dan striker adalah 0.02 m ini digunakan penulis sebagai tetapan yang digunakan melalui penelitian yang panjang dan menghemat waktu termination time yang bekerja pada saat running di LS-DYNA *solver generator* kemudian kecepatan tumbukan yang didefinisikan adalah 10 m/s yang didapat dari studi litelatur untuk mendekati kecepatan gravitasi, setelah itu didefinisikan termination time sebesar 0.00505 agar striker dapat menumbuk sempurna.



Gambar 3.13 Pemodelan Kontak



3.4.6 Tipe Analisis

Tipe analisis yang digunakan pada penelitian kali ini adalah impact, dan pada ansys memerlukan LS-DYNA explicit dynamic karena bukan merupakan pembebanan statis.

3.4.7 Validasi Penelitian

Pada penelitian kali ini karena data awal yang digunakan adalah data milik perusahaan AKP Gresik maka tidak didapatkan hasil eksperimental untuk pengujian impact ini karena pada perusahaan tidak memiliki alat pengujian impact pada material SS400 yang berbentuk plat maupun setelah berbentuk rim lingkaran, maka dari itu validasi penelitian ini adalah membandingkan nilai antara hasil dari material SS400 dengan material modifikasi yaitu material ASTM 1018 dan material mangan silikon steel ASTM A299

3.5 Langkah Penelitian

Dalam penelitian ini langkah – langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data dan Studi Litelatur

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data yang bersal dari perusahaan velg truk PT Autokorindo Pratama Gresik, data yang didapatkan dari perusahaan tersebut adalah drawing raw material berupa slab dan ukuran diameter pada rim truk, yang kemudian data tersebut akan digunakan untuk membuat desain geometri pada ANSYS

2. Pembuatan Geometri

Pada tahapan ini pembuatan geometri rim dilakukan langsung menggunakan ANSYS Mechanical APDL 17.0 dari drawing perusahaan yang telah diberikan yang kemudian didesain ulang, dan untuk striker berbentuk balok diambil dari jurnal penelitian yang sudah ada sebelumnya.

3. Simulasi dengan Software



Tahap berikutnya setelah geometri terbentuk adalah memodelkan impact dengan software ANSYS Mechanical APDL 17.0 dan dibantu dengan LS-DYNA, pada tahapan ini membutuhkan kontak General (sts) pada setting LS-DYNA option, pada simulasi ini menggunakan variasi material pada rim dan striker ditetapkan

4. Analisis Impact

Dari simulasi yang telah dilakukan maka akan mendapatkan hasil tegangan impact dari striker yang menumbuk ke rim, dan akan didapatkan juga data – data displacement dan regangan, kemudian akan diketahui material yang terbaik yang mungkin digunakan perusahaan.

5. Validasi Penelitian

Pada penelitian kali ini validasi berupa perbandingan material yang ditinjau dari sifat materialnya, karena belum adanya data pengujian eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya.

6. Analisis Data Penelitian

Jika data hasil analisis sudah dianggap valid maka akan siap untuk digunakan sebagai rekomendasi ke perusahaan

7. Kemudian tahapan terakhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil dari analisis data pada penelitian kali ini. Kesimpulan akan diperoleh berdasarkan tujuan yang ada pada sub bab 1.3. Dan penelitian pun dapat dikatakan selesai setelah itu.

3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian kali ini ada dua, yaitu:

1. Variabel terikat: variabel terikat dari penelitian kali ini antara lain adalah ukuran geometri, jarak striker dan rim, kecepatan tumbukan, jumlah meshing



2. Variabel bebas: Variabel bebas pada penelitian kali ini adalah spesifikasi material yang diberikan dalam simulasi

3.7 Rancangan Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan analisis tegangan impak pada masing - masing material, yaitu material SS400 dengan standar JIS G3101 yang berasal dari perusahaan dan pilihan material yang lain seperti pada Tabel 3.5, sehingga akhirnya dapat diketahui perbandingan material yang paling aman digunakan melalui hasil analisis distribusi tegangan dan faktor pendukung lain yaitu regangan dan *displacement*

Material yang akan dianalisis adalah sebagai berikut.:

1. Material SS400
2. Material *low carbon steel* AISI 1018
3. Material Mangan Silikon *Alloy* ASTM A299

Tabel 3.5 Rancangan Penelitian

	Material	Tegangan	Regangan	<i>Displacement</i>
Material Perusahaan	SS400	-----	-----	-----
Material Pilihan	AISI 1018	-----	-----	-----
	ASTM A299	-----	-----	-----

Pada Tabel 3.5 di atas dijelaskan variabel yang diubah adalah spesifikasi materialnya, sementara faktor lain seperti kecepatan tumbuk, geometri dan jarak antara rim dan *striker* ditetapkan dalam proses simulasi yang kemudian akan menghasilkan nilai tegangan, regangan dan *displacement* yang kemudian dianalisis ke dalam pembahasan.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data dan Pembahasan

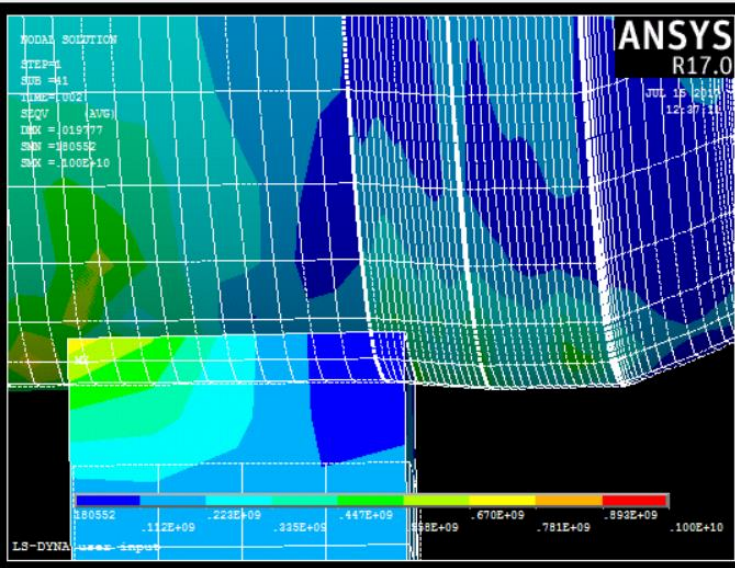
4..1.1 Analisa Hasil Simulasi

Hasil penelitian yang akan ditampilkan pertama adalah hasil nilai tegangan von mises dari material SS400, AISI 1018, dan Mangan steel ASTM A299 yang telah didapatkan dari hasil pengujian Impak dengan ANSYS Mechanical APDL dan LS-DYNA, yang dapat dilihat dalam Tabel 4.1.

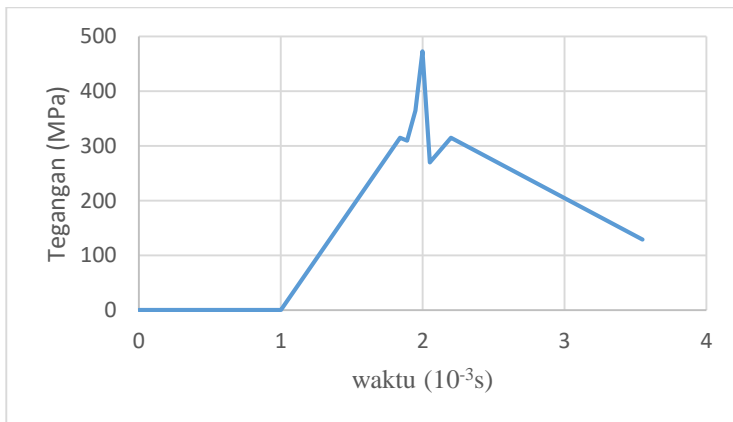
Tabel 4.1 Data Tegangan Hasil Simulasi Impak

Material	Hasil Tegangan
SS400	425 MPa
AISI 1018	368 MPa
ASTM A299	335 MPa

Berdasarkan hasil tabel 4.1 di atas, diketahui bahwa nilai distribusi tegangan rata - rata von mises paling tinggi adalah milik material SS400 dengan nilai 425 MPa, kemudian AISI 1018 dengan nilai 368 MPa dan yang paling rendah adalah material mangan steel ASTM A299 dengan nilai 335 Mpa. Dalam proses penelitian, didapatkan grafik yang menunjukkan bagaimana reaksi rim velg saat *striker* menghantam rim. Untuk memudahkan analisa maka ditampilkan dalam gambar hasil dan grafik tegangan terhadap waktu masing - masing pengujian mulai dari Gambar 4.1 sampai Gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Hasil Simulasi Tegangan *Von Mises* material SS400

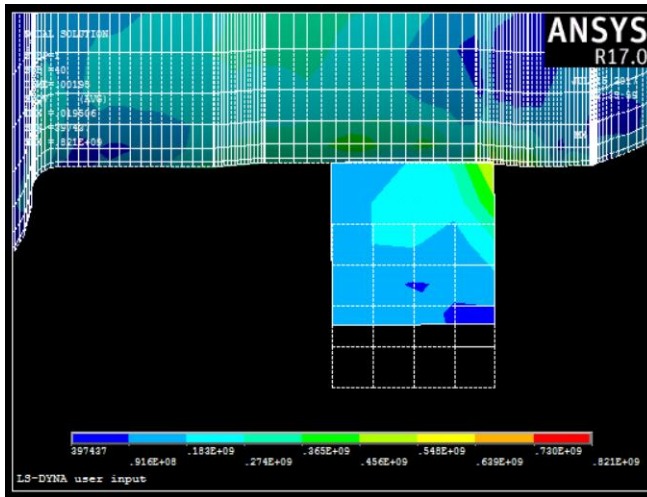


Gambar 4.2 Grafik Tegangan *Von Mises* Material SS400

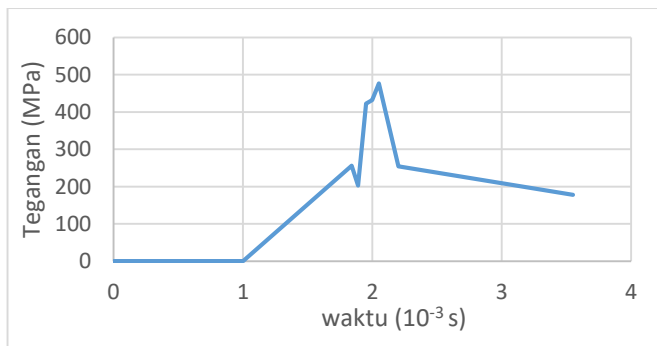


BAB IV ANALISIS DATA

Berdasarkan hasil simulasi dan grafik pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 di atas, dapat diketahui bahwa distribusi tegangan rata – rata pada material SS400 adalah $0,425 \times 10^9$ Pa dan grafik menunjukkan kenaikan sesaat, setelah terjadi penumbukan.



Gambar 4.3 Hasil Simulasi Tegangan *Von mises* material AISI 1018

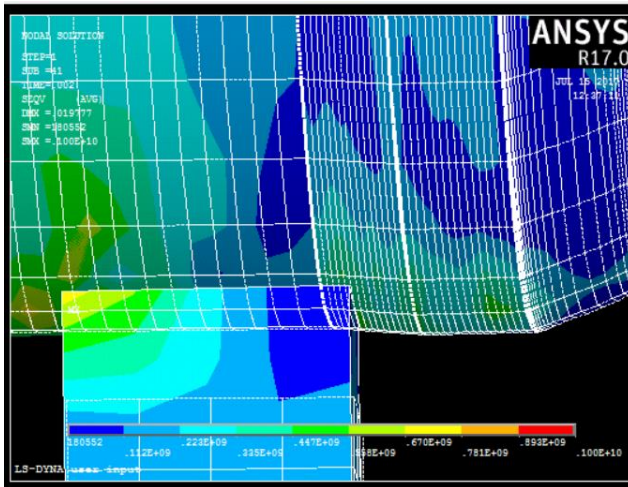


Gambar 4.4 Grafik Tegangan *Von Mises* Material AISI 1018

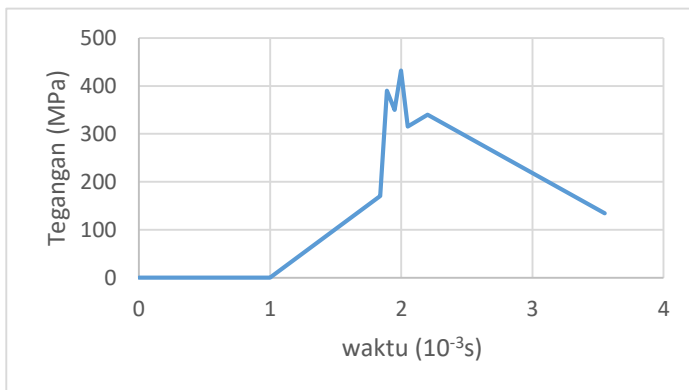


BAB IV ANALISIS DATA

berdasarkan gambar hasil dan grafik 4.3 dan 4.4 diketahui bahwa tegangan rata-rata material AISI 1018 adalah $0,368 \times 10^9$ Pa, dan *peak* yang terjadi lebih rendah daripada material SS400.



Gambar 4.5 Hasil Simulasi Tegangan *Von Mises* material ASTM A299



Gambar 4.6 Grafik Tegangan *Von Mises* Material ASTM A299



BAB IV ANALISIS DATA

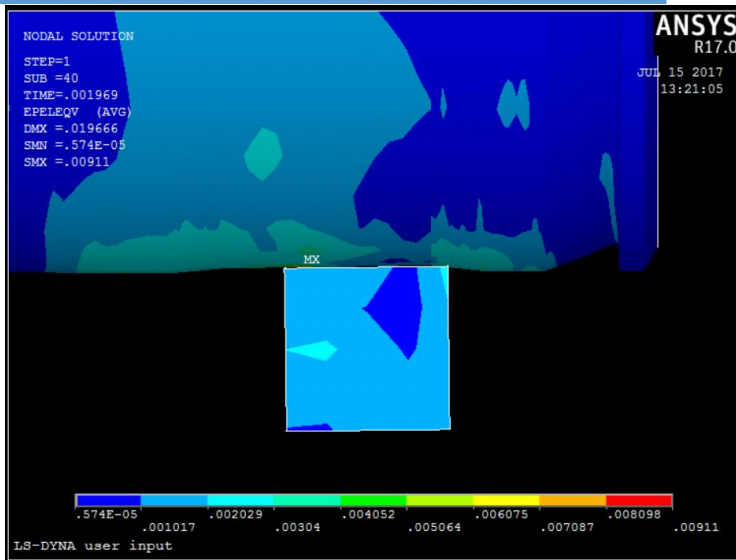
Berdasarkan hasil simulasi dan grafik pada Gambar 4.2, Gambar 4.4, dan Gambar 4.6, dapat diketahui bahwa tegangan impak terjadi sangat cepat dimana ditandai oleh *peak* pada grafik yang naik kemudian turun dengan cepat, yang dapat dilihat dari kurva tegangan von mises terhadap waktu pada gambar 4.2, 4.4 dan 4.6, itu dikarenakan striker yang menabrak rim akan langsung terpental, dan secara teori disebutkan bahwa pembebanan *impact* terjadi ketika gaya yang besar bertumbukan diantara dua material pada waktu yang singkat (M.Nabilah Akbar, 2017).

Dari hasil simulasi pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.6 seperti yang telah disebutkan di atas bahwa material SS400 memiliki hasil tegangan yang paling besar dibandingkan kedua material yang lain yaitu material AISI 1018 dan material mangan *silicon steel* A299. Hal ini juga dipengaruhi oleh kondisi material yang dapat dilihat dari nilai modulus elastisitas dari masing – masing material. Material SS400 memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 210 GPa, material AISI 1018 sebesar 205 GPa dan material mangan ASTM A299 sebesar 200 GPa. Secara teori dapat diketahui bahwa nilai modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada pengujian tarik di daerah elastisnya. Untuk memberikan penjelasan lebih lengkap akan ditampilkan hasil simulasi nilai regangan yang ada pada setiap material:

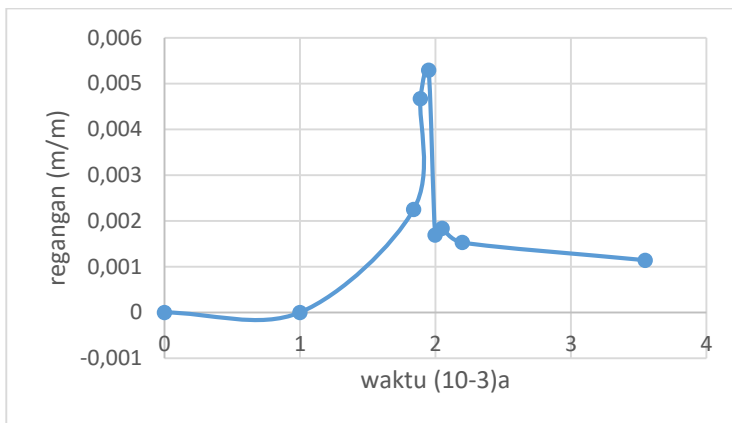
Tabel 4.2 Hasil Regangan *Effective* (v-m) Simulasi Impak

Material	Hasil Regangan (m/m)
SS400	4.56×10^{-3}
AISI 1018	4.27×10^{-3}
ASTM A299	3.96×10^{-3}

BAB IV ANALISIS DATA



Gambar 4.7 Hasil Simulasi Regangan(v-m) Material SS400

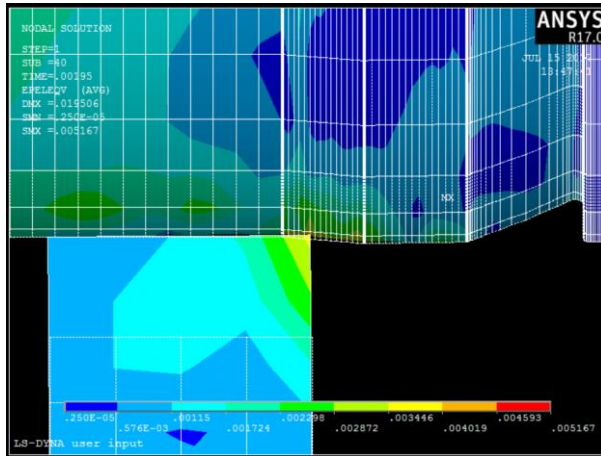


Gambar 4.8 Grafik *Effective Strain* Material SS400

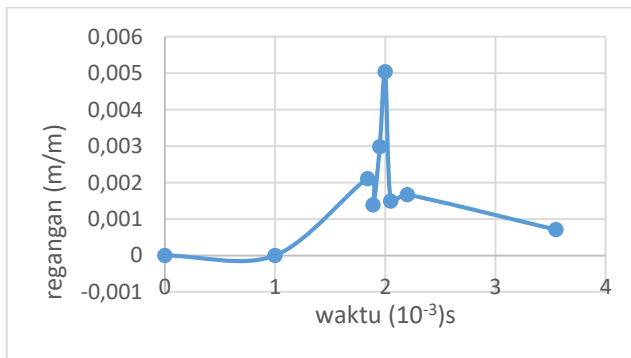


BAB IV ANALISIS DATA

Pada Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa regangan rata – rata yang diplot dengan waktu pada material AISI 1018 adalah 4.56×10^{-3} dan grafik yang terjadi hampir sama seperti tegangan naik ketika menumbuk dan ketika material mulai bergerak pergi setelah menumbuk maka akan turun.



Gambar 4.9 Hasil Simulasi Regangan(v-m) Material AISI 1018

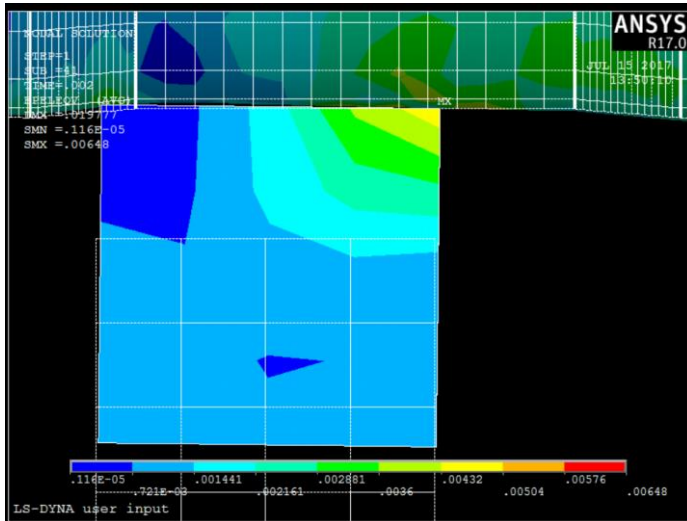


Gambar 4.10 Grafik *Effective Strain* Material AISI 1018

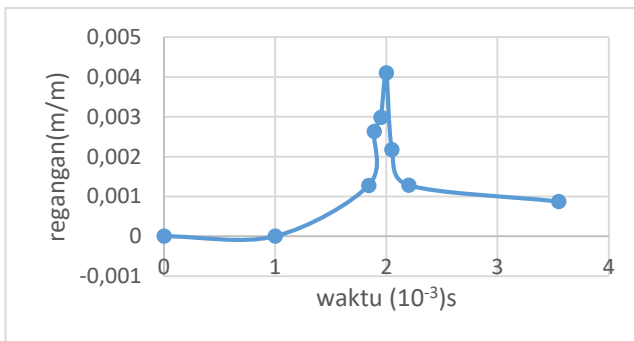


BAB IV ANALISIS DATA

Pada Gambar 4.9, dapat diketahui bahwa regangan rata – rata pada material AISI 1018 adalah 4.27×10^{-3}



Gambar 4.11 Hasil Simulasi Regangan(v-m) Material
ASTM A299

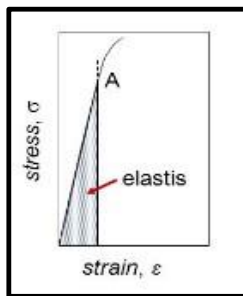


Gambar 4.12 Grafik *Effective Strain* Material ASTM A299



BAB IV ANALISIS DATA

Berdasarkan penjelasan data Tabel 4.2 dan grafik pada Gambar 4.8, Gambar 4.10 dan Gambar 4.12 diatas didapatkan hasil regangan efektif yaitu 4.56×10^{-3} untuk material SS400, 4.27×10^{-3} untuk material AISI 1018, dan 3.96×10^{-3} untuk material mangan silikon ASTM A299. Hal ini dapat kita lihat jika nilainya berbanding lurus dengan nilai tegangan efektifnya, Hasil simulasi ini sesuai dengan teori jika dilihat dari kurva tegangan regangan.



Gambar 4.13 Grafik Tegangan-Regangan

Berdasarkan Gambar 4.13 mengenai grafik tegangan regangan di atas dapat diketahui bahwa saat kondisi elastis pergerakan tegangan dan regangan beriringan bersamaan dan menandakan bahwa semakin tinggi nilai tegangan maka semakin tinggi pula nilai regangannya. ini juga dapat buktikan dengan hukum hooke yang memiliki rumus

$$E = \sigma / \epsilon$$

Dimana, E adalah modulus elastisitas, σ adalah *stress*, dan ϵ adalah *strain*.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh M. Nabilah Akbar, dimana melakukan simulasi impak velg mobil dengan menggunakan metode static dan explicit dynamic



BAB IV ANALISIS DATA

mengatakan jika suatu pengujian impact drop-test dengan standarisasi SNI 1896:2008. Velg uji masuk kedalam kriteria gagal atau tidak aman jika terjadi crack pada pelek uji yang diberi cairan penetran, bila dalam simulasi diasumsikan diabaikan cairannya. Kondisi crack pada simulasi dapat dilihat dari tegangan dan regangan elastis nya. Untuk kondisi crack pada simulasi tegangan ekuivalen pada pelek yang terjadi, harus lebih kecil dari pada tegangan Ultimate Tensile Stress (UTS). Tegangan yang melebihi UTS memiliki kecenderungan untuk mengalami crack. Kondisi crack pada simulasi regangan elastis ekuivalen pada pelek yang terjadi harus memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai regangan elastis saat fracture (*elongation at break*). Untuk mengetahui apakah material yang diujikan kali ini aman atau tidak, maka akan dibandingkan dengan nilai UTS dari masing – masing material, apakah pada material SS400 dan material modifikasi lainnya aman digunakan menurut teori yang ada yaitu batas aman ditentukan jika nilai UTS masih berada di atas nilai tegangan von mises suatu material, untuk lebh jelasnya hasil perbandingan nilai dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Nilai Ultimate Tensile Strength Setiap Material

Material	Nilai UTS
SS400	480 x 106 Pa
AISI 1018	440 x 106 Pa
ASTM A299	585 x 106 Pa



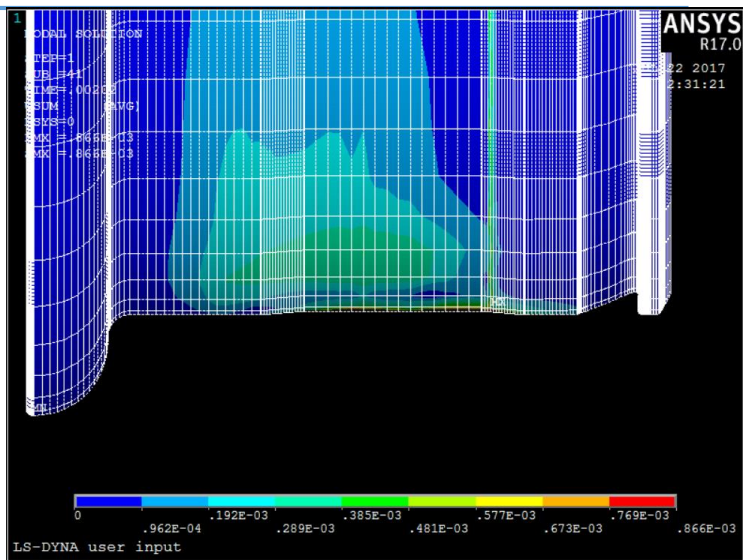
BAB IV ANALISIS DATA

Dari Tabel 4.3 tersebut kita dapat mengetahui nilai masing - masing material dan dapat kita bandingkan dengan hasil tegangan efektif *von-mises* yang ada pada Tabel 4.1. Secara runtut adalah, material SS400 memiliki hasil nilai tegangan sebesar 425 Mpa dan nilai Ultimate Tensile Strength (UTS) sebesar 480 Mpa, material AISI 1018 memiliki nilai tegangan sebesar 368 Mpa dan nilai UTS sebesar 370 Mpa, serta material mangan silikon ASTM A299 memiliki Nilai sebesar 335 Mpa dan nilai UTSnya sebesar 585 Mpa. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa masing – masing material aman dalam pengujian impak kali ini karena sesuai dengan teori dari penelitian impak velg yang digunakan penulis.

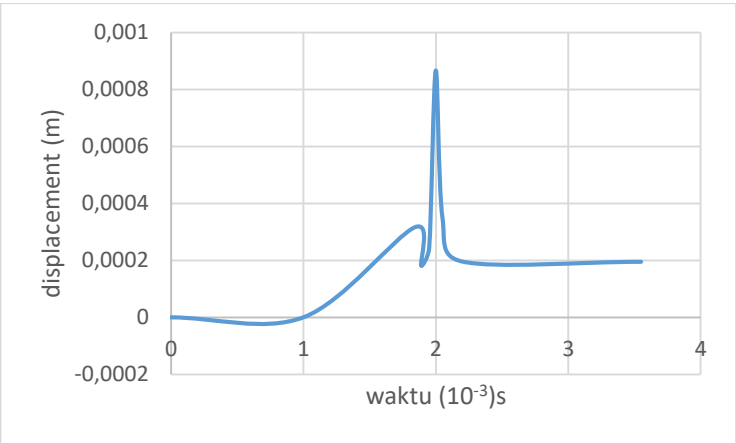
Selain membandingkan nilai tegangan, pada penelitian kali ini akan ditambahkan perbandingan *displacement* sebagai data pendukung, Berikut ini disajikan keterangan nilai displacement pada Tabel 4.4, grafik dan gambar dari hasil simulasi.

Tabel 4.4 Nilai *Displacement* Hasil Simulasi

Material	Hasil Displacement
SS400	$0,6792 \times 10^{-3} \text{ m}$
AISI 1018	$0,6844 \times 10^{-3} \text{ m}$
ASTM A299	$0,693 \times 10^{-3} \text{ m}$



Gambar 4.14 Hasil *Displacement* SS400

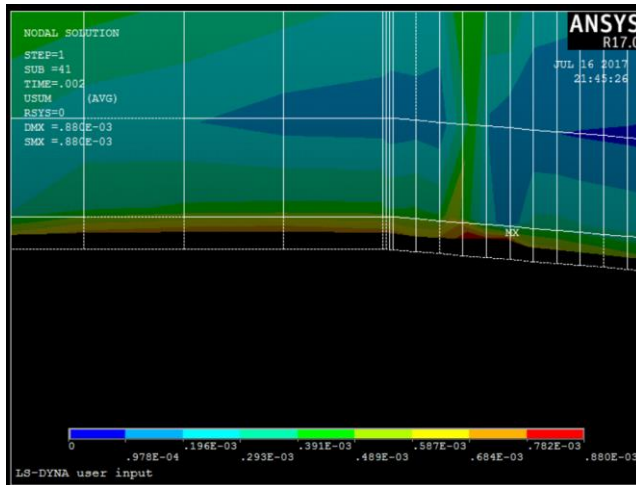


Gambar 4.15 Grafik *Displacement* SS400

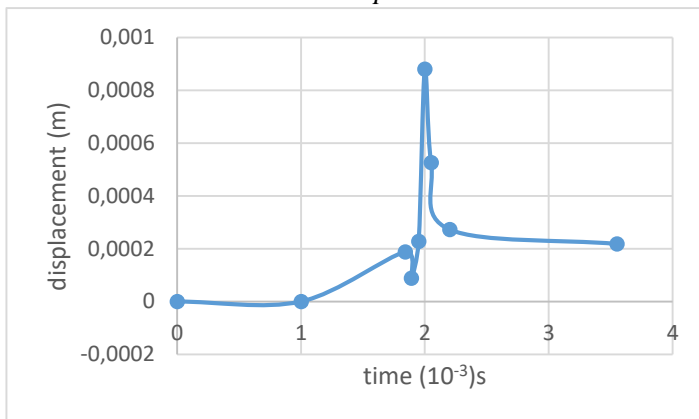


BAB IV ANALISIS DATA

Pada gambar 4.14 menunjukkan bahwa hasil rata – resultan *displacement* adalah $0,6792 \times 10^{-3}$ m, dan grafik 4.15 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai pada *displacement* setelah terjadinya impak.



Gambar 4.16 Hasil *Displacement* AISI 1018

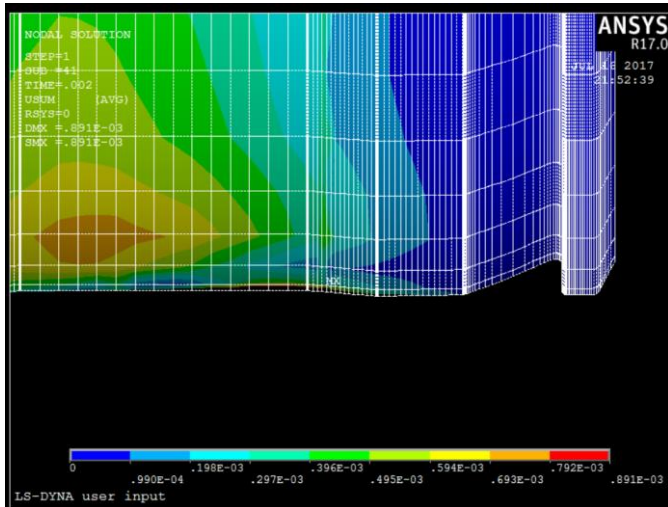


Gambar 4.17 Grafik *Displacement* AISI 1018

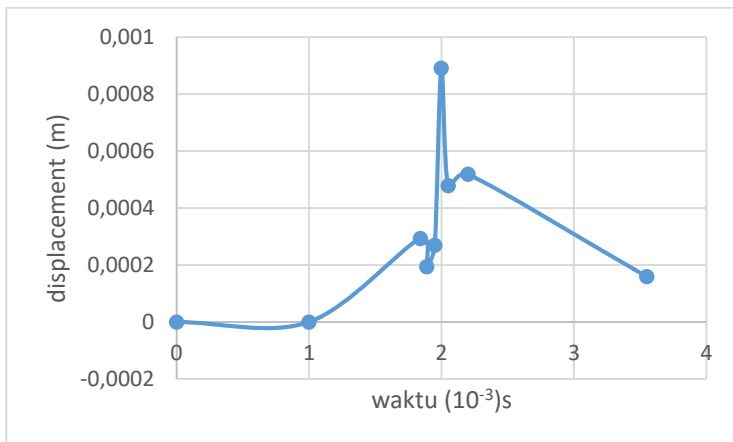


BAB IV ANALISIS DATA

Pada Gambar 4.16 menunjukkan hasil *displacement* saat impak sebesar $0,6844 \times 10^{-3}$ m pada material AISI 1018



Gambar 4.18 Hasil *Displacement* Material ASTM A299



Gambar 4.19 Grafik *Displacement* Mangan ASTM A299



BAB IV ANALISIS DATA

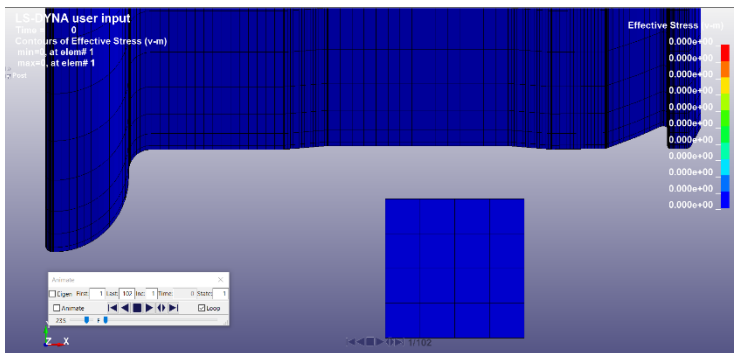
Dari Tabel 4.4 dan hasil serta grafik pada Gambar 4.14 sampai dengan Gambar 4.19, didapatkan hasil *displacement* masing – masing material sebagai berikut, material yang memiliki *displacement* paling tinggi yaitu material mangan silikon ASTM A299 sebesar $0,693 \times 10^{-3}$ m, kemudian yang kedua adalah material AISI 1018 sebesar $0,6844 \times 10^{-3}$ m, dan yang paling kecil adalah material SS400 dengan *displacement* sebesar $0,6792 \times 10^{-3}$ m, jika dilihat dari grafik persebaran nilai element hasilnya benar dan sesuai karena material yang memiliki *peak* tertinggi adalah mangan silikon steel A299. Hal ini dilihat dari teori, yang mengatakan bahwa jika suatu material memiliki modulus elastisitas lebih tinggi maka seharusnya lebih sukar untuk memanjang. Ditinjau dari modulus elastisitas dari masing – masing material yang diujikan yang paling besar adalah material SS400 dengan nilai 210 GPa, kemudian material baja AISI 1018 dengan nilai 205 GPa dan material mangan silikon dengan nilai 200 GPa, jadi dapat dilihat dari segi teori hasilnya cocok dan sesuai karena semakin tinggi nilai modulus elastisitasnya maka nilai *displacementnya* akan semakin kecil.

4.1.2 Validasi Penelitian

Dari hasil hasil pengujian yang telah didapat dan dibahas di atas, mulai dari hasil tegangan, regangan dan *displacement* maka dapat disimpulkan validasi hasil penelitian. Tetaapi sebelumnya akan diberikan beberapa gambar proses terjadinya impak pada software LS-Prepost untuk memudahkan proses pengambilan gambar.

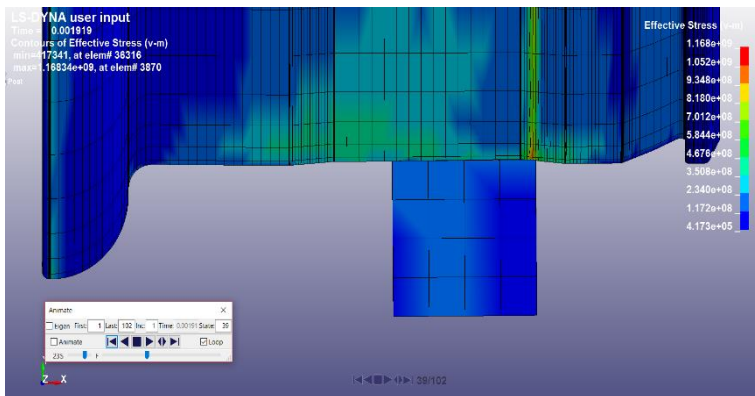
BAB IV ANALISIS DATA

A.



Gambar 4.20 Gambar Striker Sebelum Bergerak Menumbuk Rim

B.



Gambar 4.21 Striker Saat Menumbuk Rim



BAB IV ANALISIS DATA

memudahkan proses validasi maka akan dirangkum dalam Tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Keseluruhan

Material	Hasil Simulasi		
	Tegangan (v-m)	Regangan (v-m)	Displacement
SS400	425 MPa	4.56×10^{-3} (m/m)	$0,6792 \times 10^{-3}$ m
AISI 1018	368 MPa	4.27×10^{-3} (m/m)	$0,6844 \times 10^{-3}$ m
ASTM A299	335 MPa	3.96×10^{-3} (m/m)	$0,693 \times 10^{-3}$ m

Berdasarkan Tabel 4.5 di atas, didapatkan bahwa nilai tegangan dan regangan SS400 lebih besar daripada material modifikasi yang dipilih. Hal itu sesuai dengan teori karena material SS400 memiliki nilai modulus elastisitas lebih besar daripada yang lainnya, kemudian diikuti oleh material AISI 1018 kemudian material mangan silikon ASTM A299, jika ditinjau dari segi keamanannya menurut study yang dilakukan, nilai tegangan yang dianggap aman jika hasil tegangan *von – mises* nya tidak melebihi batas UTS karena dapat timbul *crack*, untuk mengetahui bagaimana perbandingan masing – masing nilai tegangan dan UTS dari tiap material dapat dilihat dalam Tabel 4.6.

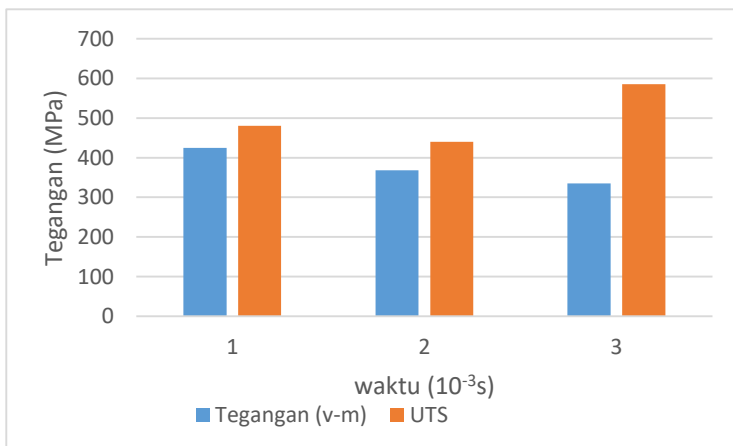


BAB IV ANALISIS DATA

Tabel 4.6 Hasil nilai Tegangan dan UTS

Tegangan (v-m)	UTS
425 MPa	480 x 106 Pa
368 MPa	440 x 106 Pa
335 MPa	585 x 106 Pa

Berdasarkan hasil pada Tabel 4.6 diatas tentang hubungan antara tegangan dan UTS maka akan dapat diplot grafik pada Pambar 4.24 berikut ini, untuk dapat mengetahui dengan jelas selisih dari UTS dan nilai tegangan dari masing – masing material.



Gambar 4.24 Gambar Perbandingan hasil Tegangan dan UTS

Pada grafik warna biru menunjukkan nilai dari tegangan von mises yang didapat dari hasil simulasi yang diplot berdasarkan persebaran tegangan saat impak terjadi, Sementara grafik warna *orange* menunjukkan nilai UTS. Dalam hal ini dilihat dari Gambar 4.24 yang paling aman adalah selisih nilai dari UTS dan tegangan



BAB IV ANALISIS DATA

von mises yang paling besar atau jarak antara batang warna biru dan warna oranye, jadi untuk material kali ini yang paling aman adalah material mangan steel ASTM A299 yang kedua adalah material AISI 1018 dan yang ketiga adalah material SS400, pada material SS400 dalam *mild sheet* perusahaan dan JIS G3101 tidak memiliki kadar mangan, sedangkan material AISI 1018 memiliki kadar mangan 0.4-0.6%, sedangkan material mangan silikon ASTM A299 memiliki kadar mangan 1%, jadi dalam hal ini penulis dapat memberikan pilihan opsi 2 material yang dapat digunakan perusahaan dalam alternatif pembuatan *rims* velg truk tentunya dengan ditinjau dari segi materialnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang diuraikan pada BAB IV, maka kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

- a. Hasil analisis Simulasi Tegangan Impak *von mises* pada masing – masing material yang diujikan adalah 425 MPa untuk material SS400, 368 MPa untuk material AISI 1018 dan 335 MPa untuk material Mangan Silikon ASTM A299, kemudian hasil nilai regangan *von mises* dari masing – masing material adalah 4.56×10^{-3} untuk material SS400, 4.27×10^{-3} untuk material AISI 1018 dan 3.96×10^{-3} untuk material ASTM A299, dan hasil displacement dari masing – masing material adalah $0,6792 \times 10^{-3}$ m untuk material SS400, $0,6844 \times 10^{-3}$ m untuk material AISI 1018, dan $0,693 \times 10^{-3}$ m untuk material ASTM A299. Dari data ini dapat diketahui bahwa nilai tegangan, regangan memiliki hasil yang berbanding lurus, dan menurut teori yang ada hasil tersebut benar, dan semakin tinggi nilai modulus elastisitasnya maka hasil *displacement* akan semakin kecil karena semakin besar nilai modulus elastisitasnya maka makin sulit suatu material untuk berubah panjangnya dan semakin kaku, jika dilihat nilainya material SS400 memiliki modulus elastisitas paling tinggi yaitu 210 GPa, kemudian material AISI 1018 dan material ASTM A299 sebesar 205 GPa dan 200 GPa, jadi hasil data tersebut dapat diterima menurut teori dan dapat dikatakan valid dalam penelitian ini.
- b. Jika ditentukan dari sisi keamanan maka ketiga material dapat digunakan secara aman karena hasil dari nilai *von mises* masih dibawah nilai UTS yang menurut teori masih aman untuk digunakan dalam kasus impak pada penelitian ini, dan jika dilihat dari hasil yang paling aman adalah material Mangan silikon alloy karena selisih



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

UTS dan tegangan von misesnya paling besar dibandingkan material SS400 atau AISI 1018.

5.2 Saran

- Penelitian ini dapat dikembangkan untuk material – material yang lain yang memiliki karakteristik berbeda
- Dapat digunakan sebagai bahan penelitian selanjutnya pada bagian velg yang lain agar hasilnya dapat digunakan untuk perbandingan sehingga semakin jelas dengan teori dan kondisi aktual yang ada
- Penelitian ini dapat dikolaborasikan dengan bidang ekonomi teknik untuk dapat memberikan saran material yang lebih ekonomis untuk perusahaan jika diketahui harga setiap material dan data penunjang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Agus Sunanto, Yuyun Estrianto, Budi Harjanto. (2013). **Jurnal Skripsi Analisis Cacat Produk Ban Vulkanisir Jenis Truk Dan Bus Pada CV. Sigma Jaya Surakarta**. Skripsi Sarjana Teknik UNS: tidak diterbitkan.

Bello R.S. 2013. Development and evaluation of metal rolling machine for small-scale Manufacturer. **Department of Agricultural & Bio-Environmental Engineering Technology Federal College of Agriculture, Ishiagu, 480001, Nigeria**. 15,3: 80—85

Bhandari, V.B. 1994. Design of Machine Elements. **New Delhi: Tata McGraw-Hill**

Chang C.L., Yang S.H. 2008. Finite element simulation of wheel impact Test. **International Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Mechanical Engineering Department, National Yunlin University of Science and Technology, Yunlin, 640, Taiwan, R.O.C**

Classes.mst. n.d. Theories of Failure. Online at <http://http://classes.mst.edu/civeng120/lessons/failure/theories/index.html>[accessed 9/07/2015]

Harri Rusandi. (2014). **Desain Dan Analisis Velg Mobil Berbasis Aluminium Alloy**. Skripsi Sarjana Teknik USU: tidak diterbitkan

Hua, M., Sansome, D.H., Rao, K.P., & Baines, K. 1994 “Continuous four-roll plate bending process: Its bending mechanism and influential parameters”. **Journal of Materials Processing Technology** 45, 181-186

Impact Test 130 Methods. Diakses tanggal 2 Mei 2016.
http://jiurongwheel.com/Product_Show.asp?ID=151.html.

Kalpajian, S., & Schmid, R. 2009. **Manufacturing Engineering and Technology**. Prentice Hall

Kuzt, Myer. 2002. **Handbook of Materials Selection**. New York: John Wiley and Sons

Liu, Yijun. **Lecture Notes: Introduction to the Finite Element Method**. University of Cincinnati

Meghashyam, P., Girivardhan, S., and Baba, N. Sayed, Aug. 2013
“Design and Analysis of Wheel Rim using CATIA & ANSYS”.
International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management

Magazine of Engineering , **Technology, Management, and Research. Vol 1**. Issue 12

Nabilah Akbar, Muchammad., 2017. “Simulasi Pengujian *Impact* berdasarkan standarisasi SNI Dan Analisa Perubahan Desain Pelek Modil Penumpang Dengan Metode Elemen Hingga”, **Repository-ITS**

Fang, G., Gao, W., Zhang, X., June 2015. “Finite Element Simulation and Experiment Verification of Rolling Forming for the Truck Wheel Rim“, **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing** 16, 7:1509-1515

Lu, Ping., Zhang, Yun Kai., Ma, Feng, 2015. “Finite element analysis on multi-step rolling process and controlling quality defect

for steel wheel rim, **International Journal of Advances in Mechanical Engineering**. 7,7:1–11

Sluzalec, Andrzej. 2003. Theory of Metal Forming Plasticity. **Springer-Verlag**, Berlin Heidelberg.

Susatio, Yerri , Ir. MT. 2004. **Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga**. Penerbit Andi, Yogyakarta

V., Shivakrisna, J., Bashker, Bala, 2014. ***Impact Analysis Of Aluminium Alloy Wheel***. Sarada. International Journal

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN



Gambar Roller pada PT.Autokorindo



Gambar Rim velg yang sudah di roll

LAMPIRAN

Coding rim	K, ,0.2096,0.0067,,
/PREP7	K, ,0.2011,0.0067,,
/REPLOT,RESIZE	K, ,0.2037043,0.0008,,
/REPLOT,RESIZE	K, ,0.2004,-0.0018,,
/REPLOT,RESIZE	K, ,0.19068,0.0025,,
/REPLOT,RESIZE	K, ,0.17938,0.0067,,
K, ,-0.0224,0.0439,,	/REPLOT,RESIZE
K, ,0.0076,0.0439,,	LSTR, 1, 2
K, ,0.0076,0.007,,	LSTR, 1, 8
K, ,0.0636,0.007,,	LSTR, 8, 9
K, ,0.07925,0.0057,,	LSTR, 9, 10
K, ,0.14425,0.0057,,	LSTR, 2, 3
K, ,0.1599,0.007,,	LSTR, 3, 4
K, ,-0.0224,0.0369,,	LSTR, 4, 5
K, ,0,0.0369,,	LSTR, 5, 6
K, ,0,0,,	LSTR, 6, 7
K, ,0.17418,0,,	LSTR, 10, 11
K, ,0.19326,-0.0108,,	LSTR, 7, 20
K, ,0.2136,-0.0108,,	LSTR, 11, 12
K, ,0.2136,-0.0008,,	LSTR, 12, 13

LSTR, 13, 14	!*
LSTR, 14, 15	LFILLT,6,7,0.005, ,
LSTR, 15, 16	!*
LSTR, 16, 17	LFILLT,7,8,0.005, ,
LSTR, 17, 18	!*
LSTR, 18, 19	LFILLT,8,9,0.005, ,
LSTR, 19, 20	!*
/REPLOT,RESIZE	LFILLT,9,11,0.005, ,
LPLOT	!*
!* 	LFILLT,10,12,0.0065, ,
LFILLT,2,3,0.0025, ,	!*
!* 	LFILLT,12,13,0.004, ,
LFILLT,1,2,0.0025, ,	!*
!* 	LFILLT,13,14,0.005, ,
LFILLT,3,4,0.0194, ,	!*
!* 	LFILLT,15,16,0.002, ,
LFILLT,1,5,0.027, ,	!*
!* 	LFILLT,16,17,0.001, ,
LFILLT,4,10,0.0095, ,	!*
!* 	LFILLT,17,18,0.0025, ,
LFILLT,5,6,0.008, ,	!*

LFILLT,19,18,0.0025, ,	FITEM,2,29
!*	FITEM,2,9
LFILLT,11,20,0.001, ,	FITEM,2,30
FLST,2,38,4	FITEM,2,11
FITEM,2,2	FITEM,2,38
FITEM,2,21	FITEM,2,31
FITEM,2,22	FITEM,2,20
FITEM,2,3	FITEM,2,12
FITEM,2,1	FITEM,2,19
FITEM,2,23	FITEM,2,35
FITEM,2,24	FITEM,2,16
FITEM,2,4	FITEM,2,17
FITEM,2,5	FITEM,2,36
FITEM,2,25	FITEM,2,37
FITEM,2,26	FITEM,2,34
FITEM,2,6	FITEM,2,18
FITEM,2,10	FITEM,2,32
FITEM,2,27	FITEM,2,15
FITEM,2,7	FITEM,2,13
FITEM,2,28	FITEM,2,14
FITEM,2,8	FITEM,2,33

AL,P51X	KEYW,PR_THERM,0
K, ,0,-0.12425,,	KEYW,PR_FLUID,0
K, ,0.174,-0.12425,,	KEYW,PR_ELMAG,0
FLST,2,1,5,ORDE,1	KEYW,MAGNOD,0
FITEM,2,1	KEYW,MAGEDG,0
FLST,2,1,5,ORDE,1	KEYW,MAGHFE,0
FITEM,2,1	KEYW,MAGELC,0
FLST,8,2,3	KEYW,PR_MULTI,0
FITEM,8,57	KEYW,LSDYNA,1
FITEM,8,58	KEYW,PR_DYNA,1
VROTAT,P51X, , , , ,	/GO
,P51X, ,360, ,	!* !* /PREP7
/REPLOT,RESIZE	!* ET,1,SOLID168
FINISH	!* FLST,2,2,6,ORDE,2
/VIEW,1,1,2,3	FITEM,2,2
/ANG,1	FITEM,2,-3
/REP,FAST	VADD,P51X
!* /NOPR	
KEYW,PR_SET,1	
KEYW,PR_STRUC,1	

VPLOT
CM,_Y,VOLU
VSEL, , , , 5
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VSWEEP,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
SMRT,6
MSHAPE,1,3D
MSHKEY,0
!*
CM,_Y,VOLU
VSEL, , , , 5
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'

CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
VCLEAR, 5
VPLOT
CM,_Y,VOLU
VSEL, , , , 5
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VSWEEP,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2

!*	CMDELE,_Y1
!*	CMDELE,_Y2
ETDEL,1	!*
!*	CM,_Y,VOLU
ET,1,SOLID164	VSEL,, , , 5
!*	CM,_Y1,VOLU
!*	CHKMSH,'VOLU'
ETDEL,1	CMSEL,S,_Y
!*	!*
ET,1,SOLID168	VMESH,_Y1
!*	!*
SMRT,10	CMDELE,_Y
CM,_Y,VOLU	CMDELE,_Y1
VSEL,, , , 5	CMDELE,_Y2
CM,_Y1,VOLU	!*
CHKMSH,'VOLU'	!*
CMSEL,S,_Y	MP,DENS,1,7850
!*	MP,EX,1,2e11
VSWEEP,_Y1	MP,NUXY,1,0.26
!*)/GOP ! Resume printing
CMDELE,_Y	after UNDO process

)! We suggest a save at this point

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan dan ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah ikut berperan serta terhadap penulisan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT. karena nikmat sehat dan karuniaNya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Nabi Muhammad yang telah memberikan inspirasi dan memperjuangkan islam hingga saat ini dan dapat menguatkan penulis
3. Ayah dan Ibu saya tercinta Bapak Drs. Toto Sutriyono M.Si dan Ibu Aan Khasanah S,Pd yang tidak bisa saya sebutkan betapa besar pengorbanannya dan betapa artinya bagi penulis, dan yang telah memberikan segalanya untuk penulis dan adik saya Fathin Anindita dan ikut menyemangati dan mendoakan penulis.
4. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis yang rela menyempatkan waktunya, membimbing penulis dengan baik dan memberi semangat kepada penulis.
5. Alvian Toto Wibisono, ST., MT. selaku dosen pembimbing kedua penulis yang dengan sabar dan tidak bosan memberikan ilmu kepada penulis.
6. Seluruh dosen Jurusan Teknik Material dan Metallurgi yang telah memberikan ilmu, menguji dan memotivasi penulis.
7. Seluruh jajaran PT. Autokorindo Pratama Gresik yang telah berkerjasama dengan penulis dan memberikan kesempatan penulis untuk memperoleh data untuk pengujian simulasi

8. Mas Kamil Akbar yang telah menyempatkan waktunya untuk memberikan ilmu tentang LS-DYNA, kontak, dan memberikan motivasi serta semangat kepada penulis
9. Mas Ridha selaku asisten laboratorium komputasi dan pemodelan material yang sering menemani penulis dan memberikan nasihat kepada penulis
10. Greggry P, Asad Jabbar dan Achmad Fajar, dan Deshinta yang telah menemani hari – hari penulis dan berjuang bersama dari awal pencarian data hingga akhir walaupun berbeda simulasi.
11. Seluruh anggota kontrakan MTV Fikri Adhi, Afza, Rifqi, Naufal, Ilham, Fiqri San, Yogi yang telah menemani hari – hari penulis di kontrakan.
12. Om Hendro dan keluarga yang telah banyak membantu penulis ketika menjalani masa perkuliahan
13. Seluruh keluarga besar Kartosuhodo dan Geta'an yang memberikan semangat dan doa kepada penulis.
14. Ayu Anisa AA yang selalu menyemangati penulis dan membantu dalam saran tata bahasa kepada penulis dan tak pernah bosan mengingatkan dalam kebaikan.
15. Azzizah L.N yang selalu memberikan semangat penulis dan tak bosan mengingatkan dalam kebaikan saat proses pengerjaan tugas akhir.
16. Mbak Rafifa yang telah membantu penulis dalam pengecekan translate abstrak
17. Mas Firdaus, Edwin dan teman – teman tahsin yang menguatkan penulis dalam hal keagamaan
18. Siti Q S.Si, Lana Ika, Sujalmo, Uud, dan teman – teman Ikatan Keluarga Mahasiswa Pati lain yang telah banyak menjadi tempat cerita penulis dan memotivasi penulis.
19. Teman – teman MT 15 yang selalu menyemangati penulis.

20. Beserta pihak – pihak yang sudah membantu dan tidak bisa disebutkan satu per satu, terimakasih atas bantuan yang diberikan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Pati pada 27 April 1995, dengan nama ayah bernama Drs. Toto Sutriyono M.Si dan Ibu Aan Khasanah S.Pd, penulis adalah anak pertama dari 2 bersaudara dan memiliki adik yang bernama Fathin Anindita. Riwayat pendidikan yang pernah penulis tempuh sampai saat ini adalah pernah bersekolah di SD N Pati Lor 02 Pati, SMP N 02 Pati dan SMA N 1 Pati, dan kemudian melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya jurusan Teknik Material Metalurgi FTI-ITS. Semenjak SMP Penulis telah aktif dalam berbagai macam kegiatan organisasi, seperti menjadi instruktur Pramuka dan Pengurus OSIS pada saat SMP, menjadi pengurus OSIS, Gerakan Tata Upacara SMA N 1 Pati, dan banyak kegiatan kepanitiaan yang lain, saat berkuliah di ITS penulis juga semakin aktif dalam kegiatan positif di kampus dan mengikuti berbagai macam organisasi, diantaranya adalah pada tahun pertama menjadi staff pagelaran seni ITS-EXPO 2014 mengikuti dan aktif berlatih beladiri Jujitsu, kemudian tahun ke dua menjadi Staff BSO ITS Education Care Center, dan diamanahi menjadi Ketua Pelaksana program pengabdian ITS Mengajar For Indonesia 2015 Probolinggo, staff Lembaga Dakwah Jurusan Ash-habul Kahfi, staff Jamaah Masjid Manarul Ilmi, dan pada tahun ketiga diamanahi menjadi kepala departemen di LDJ Ash Habul kahfi. Selain itu penulis juga banyak mengikuti kegiatan pelatihan dan menjadi pembicara pada event – event tertentu sebagai contoh pernah mengikuti pelatihan jurnalistik tingkat dasar, pelatihan pendidikan kampus dan menjadi pembicara dalam event – event pengabdian di Pati yaitu roadshow universitas yang diadakan oleh IKMP surabaya. Penulis saat berkuliah pernah memiliki pengalaman Kerja Praktik di PGN Saka Energi Indonesia Gresik dengan topik korosi dan kegagalan material dan menyelesaikan laporan dengan judul “ANALISIS DESAIN PROTEKSI KATODIK METODE SACP (SACRIFICIAL ANODE

CATHODIC PROTECTION) PADA PIPA UNDERGROUND
AREA GPF PADA SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED”
dan saat ini telah menyelesaikan tugas akhir pada bidang metalurgi
manufaktur dengan judul “SIMULASI DAN ANALISA
TEGANGAN IMPAK PADA RIM *VELG* TRUK DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA”